

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2018**

**Ivana Bambušková**

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Návrh a realizace lineárního dávkovače s přenosem dat  
prostřednictvím wifi**

**Design and Implementation of a Syringe Pump with Wi-Fi  
Data Transmission**

**2018**

**Ivana Bambušková**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Ivana Bambušková**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik

Téma: **Návrh a realizace lineárního dávkovače s přenosem dat prostřednictvím wifi**  
**Design and Implementation of a Syringe Pump with Wi-Fi Data Transmission**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Téma této bakalářské práce se zabývá tvorbou zdravotnické techniky pro simulovanou laboratoř urgentní medicíny. Laboratoř bude sestavena podle konceptu internetu věcí (IoT). Pomocí zdravotnického přístroje budou data ukládána do databáze, čímž dojde k vytvoření elektronického záznamu o intenzivní péči. Takovéto řešení napomáhá k automatickému mapování zdravotnické péče a zvyšuje kvalitu výsledné dokumentace. Takto strukturalizovaná dokumentace umožní vědecký výzkum v dané oblasti.

Student se seznámí s injekčními (lineárními) dávkovači. Popíše aktuální technické řešení a uvede aktuální možnosti zdravotnického přístroje.

Praktická část bakalářské práce bude realizována pomocí vývojového KITu ARDUINO s příslušným lineárním motorem a WiFi komunikačním modulem. Data se budou ukládat do databáze, která bude vybrána studentem (doporučeno FireBird). Výsledkem bude funkční prototyp zdravotnického přístroje.

### Body zadání:

1. Nastudování technologie moderních lineárních dávkovačů.
2. Možnosti IoT pro lineární dávkovač.
3. Seznámení se s vývojovým prostředím Arduino.
4. Návrh a konstrukční řešení lineárního dávkovače.
5. Návrh databáze pro sdílení dat.
6. Zhodnocení výsledků.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] DOBEŠ, Michal. *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-233-6.
- [2] HLAVÁČ, Václav a Miloš SEDLÁČEK. *Zpracování signálů a obrazů*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02114-9.
- [3] ŠONKA, Milan, Václav HLAVÁČ a Roger BOYLE. *Image processing analysis and machine vision*. 2nd ed. Pacific Grove: PWS Publishing, c1999. ISBN 0-534-95393-X.
- [4] SOJKA, Eduard. *Digitální zpracování a analýza obrazů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000. ISBN 80-7078-746-5.
- [5] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. 1. vyd. Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.
- [6] KROENKE, David. *Databáze*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2015.

ISBN 978-80-251-4352-0.

[7] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1.

[8] MOORE, Jr. E. a Duncan J. MAITLAND. *Biomedical technology and devices*. 2. vyd. Boca Raton: CRC Press, c2014. ISBN 978-1-4398-5959-9.

[9] PENHAKER, Marek. *Zdravotnické elektrické přístroje 2*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3108-4.

[10] ČIHÁK, Josef. *Infuzní technika a hemodialyzační technika a technologie*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3100-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Urbanczyk**

Konzultant bakalářské práce: doc. Ing. Martin Augustynek, Ph.D.

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

Datum: 25. dubna 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Zamulka /', is written over a dotted line.

podpis studenta

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala panu Ing. Tomášovi Urbanczykovi a doc. Ing. Martinu Augsustynkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je vytvořit funkční prototyp lineárního dávkovače s Wi-Fi přenosem a návrh databáze pro sdílení dat. Zaměřuje se na co nejjednodušší a nejlevnější řešení s poukázáním na vývoj a budoucnost infuzní techniky. Využívá moderních technologií v oblasti programování ve vývojovém prostředí Arduino IDE přes vývojovou desku RobotDyn Mega2560 se zabudovaným Wi-Fi modulem. Programování veškerých komponent probíhá přes Arduino. Zároveň je vytvořen návrh databáze v Oracle. Ten je vymodelován pouze pro představu, jak by následná databáze mohla vypadat a je zde poukázáno na vazby mezi entitami. Data přicházejí prostřednictvím Access Pointu do aplikace vytvořené v C#. V GUI se zobrazí zadaný objem a čas a uživatel vyplní požadované údaje. Databáze, kam se ukládají data z dávkovače (čas a objem), je vytvořena lokálně prostřednictvím programu Visual Studio. Vytvořené řešení poskytuje možnosti pro další vývoj databáze pro sdílení dat a napojení se na nemocniční systém, kam by se data ukládala. Přínosem této práce je vytvoření zařízení, které bude sloužit pro výuku a prezentaci zdravotnické techniky. S dalším vývojem a doplněním by ho bylo možno využít ve zdravotnické praxi.

## **Klíčová slova**

Lineární dávkovač; infuzní technologie; Arduino; ESP8266; Mega2560; WiFi; Oracle; C#; lokální databáze; krokový motor.

## **Abstract**

The aim of this bachelor thesis is to create a functional prototype of a syringe pump with Wi-Fi transmission and to design a database for data sharing. This thesis aims to provide the simplest and cheapest development solution for the future of infusion techniques. It uses advanced programming technologies in the Arduino IDE development environment via the RobotDyn Mega2560 development board with an integrated Wi-Fi module. All components are programmed via Arduino. The database concept is created in Oracle. Its purpose is to demonstrate the theoretical database concept interface and connection between given variables (& entities). The data transmission process is achieved by data input through C# application Access Point, which is created in Visual Studio (Software). The data (Time and Volume) is visually interpreted in application GUI. This proposed solution aims to support creation of database, which would be connected to hospital system, where all data shall be stored. The goal of this thesis is to create a device, which could serve as an educational and presentational medical tool. With additional research and development this medical tool could be additionally used in medical practice.

## **Key words**

Syringe pump; infusion technology; Arduino; ESP8266; Mega2560; WiFi; Oracle; C#; local database; stepper motor.



# Obsah

Seznam použitých symbolů .....	11 -
Seznam použitých zkratek .....	12 -
Seznam ilustrací .....	13 -
Seznam tabulek .....	14 -
Úvod .....	15 -
1 Lineární dávkovače .....	16 -
1.1 Základní předpoklady na technická data a bezpečnost .....	16 -
1.2 Terminologie v klinické praxi .....	16 -
1.3 Historie lineárních dávkovačů .....	16 -
1.4 Princip a technické řešení lineárních dávkovačů .....	18 -
1.5 Moderní lineární dávkovače a možnosti IoT .....	19 -
1.5.1 IoT – Internet of Things .....	20 -
2 Arduino .....	21 -
2.1 Charakteristika .....	21 -
2.2 Software Arduino IDE .....	22 -
2.3 Vývojové desky .....	22 -
2.3.1 Knihovny .....	23 -
2.3.2 Typy desek .....	23 -
2.3.3 Arduino klony .....	24 -
2.3.4 Shieldy .....	25 -
3 Výběr komponentů .....	26 -
3.1 Výběr desky .....	26 -
3.1.1 Arduino MEGA2560 REV3 .....	26 -
3.1.2 WeMos D1 .....	27 -
3.1.3 RobotDyn Mega + WiFi .....	27 -
3.2 Výběr motoru .....	28 -
3.2.1 Lineární motor .....	28 -
3.2.2 Servomotor .....	28 -
3.2.3 Krokový motor .....	29 -
4 Použité součástky .....	30 -

4.1	Motor Microcon sx17-1005LQEF.....	- 30 -
4.1.1	Popis krokového motoru .....	- 31 -
4.2	H-můstek mini L298N .....	- 31 -
4.3	LCD dotykový display 3.2” .....	- 32 -
4.4	Řídící jednotka RobotDyn Mega2560 + WiFi .....	- 32 -
5	Návrh a konstrukční řešení lineárního dávkovače.....	- 34 -
5.1	Úchop pro injekční stříkačku .....	- 35 -
5.2	Mechanismus pro posuv.....	- 35 -
5.3	Napájení soustavy .....	- 36 -
5.3.1	DC/DC měnič LM2596 .....	- 37 -
5.4	Programové řešení LCD displeje .....	- 37 -
5.5	Programové řešení dávkování .....	- 38 -
5.6	Programové řešení ESP8266 čipu .....	- 39 -
5.6.1	TCP/IP .....	- 40 -
6	Počítačová aplikace v C# .....	- 41 -
6.1	Model klient-server .....	- 41 -
7	Databáze.....	- 42 -
7.1	Návrh databáze v Oracle .....	- 42 -
7.2	Lokálně vytvořená databáze ve Visual Studio .....	- 43 -
7.2.1	DataSet .....	- 43 -
7.2.2	TableAdapter .....	- 43 -
7.2.3	BindingSource .....	- 43 -
8	Výsledky.....	- 44 -
	Diskuze.....	- 45 -
	Závěr.....	- 46 -
	Použitá literatura.....	- 47 -

# Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
<b>V</b>	l	Objem kapaliny
<b>D<sub>0</sub></b>	m	Vnější průměr pístu
<b>π</b>		Konstanta
<b>d</b>	m	Vzdálenost posuvu pístu
<b>Δt</b>	s	Rozdíl času
<b>Φ</b>	ml/min	Rychlost průtoku
<b>I</b>	A	Proud
<b>U</b>	V	Napětí

## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
<b>AC</b>	Střídavý proud
<b>ARO</b>	Anesteziologicko – resuscitační oddělení
<b>DC</b>	Stejnoseměrný proud
<b>EMG</b>	Electromyography
<b>EMR</b>	Electronic Medical Record
<b>FTDI</b>	Future Technology Devices International
<b>GUI</b>	Graphical User Interface
<b>IC</b>	Integrated Circuit
<b>ICSP</b>	In Circuit Serial Programming
<b>IDE</b>	Integrated Development Environment
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>JIP</b>	Jednotka intenzivní péče
<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display
<b>Li-Pol</b>	Lithium-Polymerová baterie
<b>MCU</b>	Microcontroller Unit
<b>MP</b>	Měřicí přístroj
<b>NiMH</b>	Nikl-metal hydridový akumulátor
<b>PC</b>	Personal Computer
<b>PWM</b>	Pulse Width Modulation
<b>TCP/IP</b>	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
<b>TFT</b>	Thin Film Transistor
<b>TTL</b>	Time to live
<b>USB</b>	Universal Serial Bus

# Seznam ilustrací

Obrázek 1.1: První lineární dávkovač na světě podle Dr. Hesse a společnosti B/Braun .....	16 -
Obrázek 1.2: Dávkovač Unita .....	17 -
Obrázek 1.3: Vývoj dávkovačů – 1964 – Perfusor ®, 1982 – Perfusor ® Secura, 1987 – Perfusor ® Secura FT, 1997 – Perfusor ® Compact.....	17 -
Obrázek 2.1: Arduino IDE .....	22 -
Obrázek 2.2: Arduino UNO .....	23 -
Obrázek 2.3: Zleva Arduino Fio, Arduino Yún .....	24 -
Obrázek 2.4: Svalové (EMG) senzory.....	24 -
Obrázek 2.5: Arduino Wi-Fi Shield .....	25 -
Obrázek 3.1: Arduino MEGA2560 REV3 .....	26 -
Obrázek 3.2: Samostatný čip ESP8266.....	27 -
Obrázek 3.3: Deska WeMos D1 .....	27 -
Obrázek 3.4: Lineární motor .....	28 -
Obrázek 3.5: Servomotor .....	29 -
Obrázek 3.6: Krokový motor.....	29 -
Obrázek 4.1: Microcon sx17-1005LQEF a spojka na motor (přední a zadní pohled).....	30 -
Obrázek 4.2: Pohyb krokového motoru.....	31 -
Obrázek 4.3: Zapojení H-můstku .....	31 -
Obrázek 4.4: LCD dotykový display 3.2” a TFT LCD shield.....	32 -
Obrázek 4.5: Mega2560 + Wi-Fi .....	32 -
Obrázek 4.6: Přepínač režimů .....	33 -
Obrázek 4.7: Zleva přepínač pro změnu připojení mezi ATmega2560 a ESP8266 a tlačítko „Mode“ .....	33 -
Obrázek 5.1: Grafické zobrazení soustavy .....	34 -
Obrázek 5.2: Snižující DC/DC měnič LM2596 .....	37 -
Obrázek 5.3: Schéma funkčnosti a vzhled displeje – Menu 1, 2 a 3 .....	38 -
Obrázek 6.1: Vzhled aplikace vytvořené v C#.....	41 -
Obrázek 7.1: Relační model vytvořený v Oracle .....	42 -
Obrázek 7.2: Schéma využití komponent.....	43 -
Obrázek 8.1: Výsledný produkt.....	44 -

## Seznam tabulek

Tabulka 1.1: Porovnání základních parametrů moderních dávkovačů.....	- 19 -
Tabulka 4.1: Zapojení vinutí pro motor sx17-1005LQEF7.....	- 30 -
Tabulka 4.2: Přepínání režimů na desce.....	- 33 -
Tabulka 8.1: Zkoumané a změřené parametry .....	- 44 -

## Úvod

Vývoj infuzní techniky se stále posouvá vpřed. Sám pacient si není schopen představit, kde všude se může s tímto druhem techniky setkat. Zdravotničtí pracovníci využívají infuzní techniku, konkrétně však lineární dávkovače na mnohých odděleních a v dnešní době jsou jejich nedílnou součástí.

V současnosti práce s lineárním dávkovačem probíhá tak, že po naordinování příslušné medikace sestra lék připraví a následně vloží injekční stříkačku do dávkovače. Poté nastaví hodnoty dle požadovaných parametrů. Samotné zacházení s tímto zařízením je poměrně jednoduché, jelikož vysoce moderní přístroje již obsahují knihovny s léčivy, díky kterým si zdravotník vybírá pouze z konkrétních léků. Celý proces je nutné zaznamenat do zdravotnické dokumentace. Pokud se na nemocniční jednotce nachází více pacientů, kterým je nutno aplikovat více medikamentů zároveň, zvyšuje se čas a náročnost práce pro zdravotnický personál. Opět jsou již vytvořené systémy, umožňující ukládání zadaných hodnot přímo do zdravotnické dokumentace pacienta. Tyto systémy se však řadí mezi ty nejlepší a nejmodernější, proto ne všechna zdravotnická zařízení mohou tyto přístroje vlastnit.

V mé práci se snažím vytvořit systém, který poskytne jednoduchý a funkční návrh pro tvorbu lineárních dávkovačů a přinese jiný způsob řešení, jak v programové, tak po konstrukční stránce. Zároveň poslouží jako zařízení pro výukové a ukázkové účely. Cílem není vytvoření přístroje, který by mohl být okamžitě užíván v medicínské praxi, ale prototypního zařízení, u kterého bude možnost dalšího vývoje.

# 1 Lineární dávkovače

Lineární dávkovače neboli perfuzory jsou jedním ze dvou druhů infuzní techniky, které využívají injekční stříkačky pro kontinuální a přesné dávkování koncentrovaných léčiv. Druhým typem infuzní techniky jsou infuzní pumpy, které prostřednictvím infuzního setu podávají velké objemy léčiv, krve nebo výživy. Patří do skupiny IIb a III zdravotnických prostředků společně s plicními ventilátory, anestetickými přístroji nebo endoskopy. [3]

## 1.1 Základní předpoklady na technická data a bezpečnost

- rychlost, celkový objem a doba dávkování,
- měření uzavíracích tlaků, signalizace ukončení dávkování a zavzdušnění setu,
- znalost přesnosti dávkování, stálost veličin. [2]

## 1.2 Terminologie v klinické praxi

Z hlediska technické dokumentace v klinické praxi by bylo vhodné si pro začátek uvést názvy, které není vhodné ve spojení s lineárními dávkovači užívat. Zejména to jsou tyto termíny:

- injektomat, který je vyvozen z obchodního názvu,
- injekční pumpa,
- injekční dávkovač. [2]

Název „injekční“ je zavádějící i přes to, že se do dávkovače injekční stříkačka vkládá.

## 1.3 Historie lineárních dávkovačů

V roce 1951 německá firma B/Braun společně s doktorem Hessem vytvořila pro klinickou praxi první lineární dávkovač, který používal skleněnou stříkačku o objemu 10 ml, která obsahovala kovový píst a těsnění pomocí silikonu. Bylo možno ji použít pro vícero dávkování. Jelikož se jednalo o poměrně malý objem, který bylo možno pacientovi podat, koncentrace léků byla vyšší. Především byl určen pro podávání vasodilatačních látek. Rychlost dávkování byla pevně nastavena na 1 ml/h a ovládací prvek byl páčkový síťový vypínač. K dávkování velkých objemů se využívaly gravitační infuzní soupravy, sloužící k terapeutickému podávání infuzních roztoků z vaků za působení gravitace. [1], [2]



*Obrázek 1.1: První lineární dávkovač na světě podle Dr. Hesse a společnosti B/Braun, [1]*



Lineární dávkovače umožňují dávkovat malé i velmi malé dávky s vysokou rychlostí a stabilním časem. Pokud se pacientovi snažíme podat určitou koncentraci látky ve formě infuze, musíme uvažovat, že je pacient zatěžován balastní vodou, která může být v určitých případech brána jako kontraindikace. Dávkovače nám, na rozdíl od infuzních souprav pro gravitační a přetlakovou infuzi, poskytují možnost dávkovat vysoce koncentrované roztoky bez ostatních ředících látek, a proto je pomocí gravitační infuze takřka neřešitelná. Z tohoto důvodu byly předmětem dalšího vývoje. [2]

Nástupcem prvního dávkovače společnosti B/Braun se stal roku 1959 dávkovač Unita, který měl dvanáct pevně nastavitelných rychlostí pro podávání medikamentů v rozsahu 0,0075 až 5000 ml/hod. Protože měl velice pevnou konstrukci, lékaři si ho velmi cenili. [1]



Obrázek 1.2: Dávkovač Unita, [1]

Zdokonalení dávkovačů vedlo k tomu, že jsou nyní schopny zvládat úkony, se kterými se v raných počátcích nepočítalo jako parentální a enterální výživu, terapii bolesti nebo lokální anestezii. Díky řadě bezpečnostních prvků a opatření se tato terapie stala spolehlivou a řeší tak riziko možného selhání zdravotníka, poskytujícího terapii. Z bezpečnostních prvků se nejvíce využívá indikace vzduchu v infuzi, při které se snižuje možnost vzniku vzduchové embolie, dále pak měření tlakových poměrů, sleduje se průchodnost průtokových cest a v neposlední řadě měření průtoku a odvozených veličin. Díky pokročilým možnostem v oblasti softwaru jsme schopni optimalizovat zadání, výpočet, a tudíž i vyhodnocení dat. Nedílnou součástí je i kompatibilita přídatných komponentů jako jsou například injekční stříkačky. [2]



Obrázek 1.3: Vývoj dávkovačů – 1964 – Perfusor®, 1982 – Perfusor® Secura, 1987 – Perfusor® Secura FT, 1997 – Perfusor® Compact, [1]

Dnes se lineární dávkovače využívají v daných oblastech lékařství:

- základní aplikace – akutní a interní lékařství (ARO, JIP),
- diabetologie – inzulínové pumpy (mobilní prostředek, dnes samostatný obor),
- heparinové pumpy – mimotělní krevní oběhy (perfuziologie, dialýza),
- onkologie – dávkování cytostatik. [2]

#### 1.4 Princip a technické řešení lineárních dávkovačů

Nezbytným prvkem lineárních dávkovačů je injekční stříkačka, která se umísťuje do úchopové části přístroje. Jak již bylo výše zmíněno, jako první se používaly stříkačky ze skla pro opakované použití, nejčastěji o objemu 10 až 20 ml. Dnes je standard v podobě plastových injekčních stříkaček pro jednorázové užití. [2]

S postupem času se nároky na injekční stříkačky začaly zvyšovat, tudíž nemůžeme všechny typy injekcí použít. Je to především z důvodu případného selhání, například lidským faktorem či vadným materiálem, a následných důsledků vzniklých nedodržením daných podmínek. Postupným zkoumáním, analýzou a získanými zkušenostmi se vyvinuly injekční stříkačky, kompatibilní s využitím v daném přístroji. [2]

Příklady sledovaných parametrů:

- průměr (vnější i vnitřní) a vnitřní objem,
- mrtvý objem pro dotlačení pístu,
- délka pístu a stříkačky,
- rozměrová stabilita,
- silikonové těsnění pístu,
- šroubovací připojení koncovky u hadičky,
- plynulý posuv pístu bez zadržování (creep efekt) apod.

Dalšími nezbytnými funkcemi pro dávkovače jsou především:

- pevný, stabilní a předem určený úchop injekční stříkačky a zároveň pístu,
- automatické rozpoznání o jaký typ injekční stříkačky se jedná a jaký má objem,
- zajištění přesného a předem definovaného posuvu pístu,
- vedení posuvu pístu předem danou rychlostí,
- výpočet a určení podaného objemu. [2]

Základní princip je dán především rovnoměrným posuvem pístu a vytlačení kapaliny. Objem  $V$  je dán vnitřním průměrem injekční stříkačky, a také tím o jakou vzdálenost  $d$  se píst posune. Čas posunu mezi dvěma úseky poté určí rychlost, jakou se bude kapalina podávat. Rychlost podávání můžeme nazvat průtokem. Vnější průměr, který byl uveden mezi důležitými sledovanými parametry slouží pouze k určení typu, a tak i objemu stříkačky. Programové vybavení přístroje pak provádí výpočty. Je možno přepočítávat jednotky, které jsou běžně užívány pro dávkování roztoků. Objem se určuje v ml nebo  $\mu\text{l}$  a průtok v ml/min nebo  $\mu\text{l}/\text{min}$ . Dále jsou uvedeny rovnice pro výpočet objemu kapaliny (rovnice 1.1) a pro výpočet průtoku (rovnice 1.2). [2]

$$V = \frac{\pi \cdot D_0 \cdot d}{4}, \quad (1.1)$$

$$\Phi = \frac{V}{\Delta t} = \frac{\pi \cdot D_0 \cdot d}{4 \cdot \Delta t}, \quad (1.2)$$

kde  $V$  je objem kapaliny, která byla vytlačena,  $\pi$  je konstanta, udávající poměr obvodu jakéhokoli kruhu v euklidovské rovině k jeho průměru,  $D_0$  je vnější průměr pístu = vnitřní průměr injekční stříkačky,  $d$  je vzdálenost, o jakou se píst posunul,  $\Delta t$  je čas, mezi dvěma úseky polohy pístu a  $\Phi$  je rychlost, jakou se roztok dávákuje = průtok. [2]

### 1.5 Moderní lineární dávkovače a možnosti IoT

V dnešní době se dávkovače využívají na většině odděleních, zejména na ARO a JIP, operačních sálech nebo vozech záchranné služby. Nejnovější modely získaly certifikát pro použití ve vrtulnicích záchranné služby. Malá hmotnost a rozměry ocení především pacienti v následné péči, kteří již nemusí ležet jen na lůžku. Díky této možnosti si přístroj mohou nosit s sebou. V *Tabulce 1.1* můžeme vidět základní parametry moderních lineárních dávkovačů. [3]

*Tabulka 1.1: Porovnání základních parametrů moderních dávkovačů, [51], [52], [53], [54]*

	Alaris Enteral	Pilot A2	Braun Perfusor Space	Argus
Maximální rychlost podání stříkačka 5 ml	0,1 - 150 ml/h	0,1 - 400 ml/h přednastaveno 200 ml/h	0,1 - 1800 ml/h	0,1 - 1100 ml/h
Maximální rychlost podání stříkačka 10 ml - 50 ml	0,1 - 200 ml/h	0,1 - 400 ml/h přednastaveno 200 ml/h	0,1 - 1800 ml/h	0,1 - 1100 ml/h
Přesnost systému	± 2 %	± 1 % MP ± 2 % stříkačka	± 0,5 % MP ± 2 % stříkačka	± 2 %
Baterie	NiMH	uzavřená, olověná, dobíjecí, akumulátorová	NiMH	NiMH
Napájení	115–230 V AC	12–15 V DC	11–16 V DC	5–20 V DC

Moderní dávkovače řídí mikroprocesory, které umožňují hlídat naprosto přesné dávkování farmak. Mají možnost samostatného výpočtu dávky, což snižuje možnost chyby lidským faktorem. Velkou výhodou je jediný napájecí kabel připojený k dokovací stanici, která umožňuje vložit až 24 infuzních jednotek. Je zde zabudována ochrana proti interferenci a zkreslení obrazu u magnetické rezonance. Většina dnešních dávkovačů již obsahuje knihovny s léčivy, které mají omezující hranici pro rychlost dávkování, čímž se opět zvyšuje bezpečnost dávkování. Při předchozím vývoji se nahrávaly katalogy léků prostřednictvím lokálního serveru. Když došlo ke špatnému nastavení dávky, systém prohledal katalog a po zjištění nestandardního objemu, který v katalogu definován nebyl, bylo vysláno upozornění. Velký pokrok nastal i v integraci mezi přístrojem a systémy pro monitorování. [3], [35]

Myšlenka využití IoT ve zdravotnictví je jistě přínosem, avšak skýtá i možná úskalí. Je to především z důvodu možného napadení hackery. Patří zde všechny přístroje, které jsou připojeny k serverům typu back-end obsahujících databázi pacientů, k aplikacím pro zdravotní péči a zařízením front-end pro zdravotníky. Dnešní přístroje používají rozhraní EMR a tím se připojují k elektronickému lékařskému záznamu pacienta, což má podstatné výhody. Pokud lékař zadá medikaci pro konkrétního pacienta, EMR je schopno komunikovat přímo s lineárním dávkovačem a hlídat, zdali byl aplikován správný lék. Díky programovatelnosti zařízení neexistuje prostor pro chybu lidským faktorem. Další výhodou jsou čárové kódy na náramku pacienta. Přístroje obsahují skenery pro rozeznání kódu, díky čemuž je možno pomocí EMR systému přenést data o pacientovi a automaticky nastavit parametry, které mu byly předepsány. Nevýhoda začlenění zdravotnických prostředků do sítě IT představuje nové otázky, týkající se bezpečnosti a bezpečnosti pacientů, zároveň představuje neznámou hrozbu z hlediska operačních systémů. Zdravotníci pracovníci musí zvážit mechanismy anonymity, integrity a dostupnosti nejen pro údaje o pacientech, ale také brát ohled na zdravotnické prostředky a dbát na zajištění jejich ochrany. [35], [36], [37]

#### 1.5.1 IoT – Internet of Things

Zahrnuje veškeré spotřebiče a zařízení, jejichž součástí je elektronika, pohyblivé komponenty, software a možnost propojení přes síť, díky čemuž jsou schopny vzájemně komunikovat. Jednotlivá zařízení pracují nezávisle na sobě, vykonávají svou specifickou činnost, a zároveň se veškeré údaje o jejich činnosti, či nečinnosti shromažďují a umožňují uživateli řešit možné kolize. Veškerá funkčnost je kontrolována prostřednictvím dosavadní infrastruktury, kam se řadí Internet, mobilní síť, komunikační jednotky a podobně. IoT je složen ze 3 prvků:

1. Komunikační jednotky – Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN, Ethernet apod.,
2. Zařízení – spotřebiče, stroje, čidla
3. Datová střediska – centra pro zpracování a ukládání dat, umožňují správu a analýzu.

Těmito celistvými systémy se chce dosáhnout jednoduchosti užívání, zvýšení efektivity a účinnosti a snížení ekonomických požadavků. Tato technologie je využitelná i v oblasti zdravotnictví, v systémech pro rozbor DNA nebo monitorovacích technikách pro záznam srdečního rytmu. [33], [34]

## 2 Arduino

Arduino je Open Source elektronická platforma, jejíž cílem je snadné použití hardwaru a softwaru. Arduino desky jsou schopny číst vstupy jako například světlo na snímači či prst na tlačítku a přeměnit ho na výstup (aktivace motoru nebo online publikace). Je založeno na mikrokontrolerech ATmega od firmy Atmel. Jeho zakladatelé Massimo Banzi a David Cuartielles ho pojmenovali po významné historické osobnosti města, Arduinovi Ivrejském. Operační systém je multiplatformní, to znamená, že může fungovat na více počítačových platformách. [4], [5], [6]

Vývoj byl započat v roce 2005 v Ivrea Interaction Design Institut, kde se pokusili vytvořit jednoduchý vývojový set. Je především zaměřen na studenty bez zázemí v oblasti elektroniky a programování. S postupným vývojem se začalo Arduino měnit z důvodu přizpůsobení nových potřeb, odlišila nabídku od jednoduchých 8bitových desek k produktům pro aplikace IoT, 3D tisk a podobně. Všechny desky jsou zcela otevřené, umožňují uživatelům nezávislé sestavení a případné přizpůsobení jejich potřebám. Velké rozšíření umožnilo sdílení schémat a návodů celému světu, jelikož se jedná o Open Source projekt. V dnešní době může slavit nemalý úspěch, protože se prodalo více než několik stovek tisíc desek. Její úspěšnost vedla i k vytvoření mnoha klonů, ve spolupráci se společnostmi jako například Intel. [4], [5], [6]

### 2.1 Charakteristika

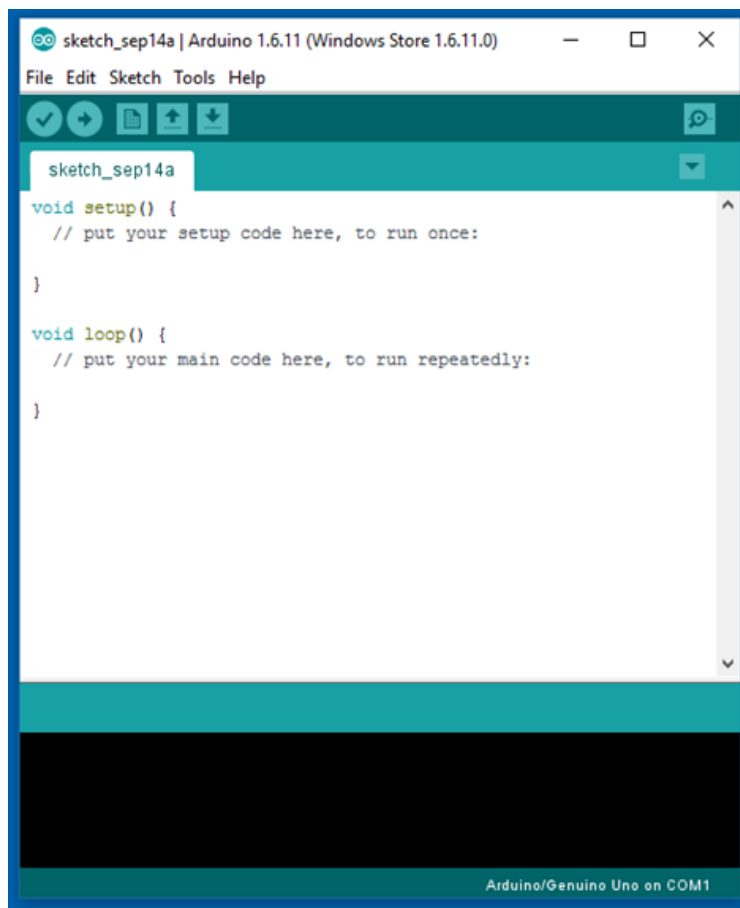
Jak již bylo řečeno, jedná se o Open Source platformu s grafickým vývojovým prostředím, vycházejícím z prostředí Wiring. Jedná se o desku s mikrokontrolerem, IDE a Processing, což je programová část, která je postavena na knihovně pro jazyk Java, k níž je přidán i vlastní editor. Je možno ho použít k vytvoření nezávislých vzájemně komunikujících zapojení nebo ho můžeme připojit k počítačovému software např. Adobe Flash, Pure Data, Processing apod. Tak, jako si můžeme zakoupit Arduino již zhotovené, tak je možnost na základě volně přístupného schématu a návrhu plošného spoje si ho vytvořit. [4], [5], [6]

Myšlenkou Arduina není vytvořit plnohodnotný stolní počítač, jak je tomu například u Raspberry Pi, protože program pro řízení je vyvíjen zvlášť (na počítači) a posléze je do Arduina nahrán a spuštěn. V Arduinu je tento program stále spouštěn smyčkou, která se opakuje. Výhodou je, že neustále dochází ke zjišťování stavu okolí a umožňuje reakci na změny. Na základě tohoto faktu má nízkou spotřebu a je možno ho použít pro řízení robotů apod. Napájeno může být pouze malou baterií. [4], [5], [6]

Dokumentaci, referenční příručku jazyka a externích knihoven, je možno najít pod licencí Creative Commons. To umožňuje mít k dispozici všechny zdrojové soubory a dodržet tak kompatibilitu, buďto jazykem Java, jehož základem je IDE – vývojové prostředí nebo za použití USV-to-RS-232 převodníkového čipu, zajišťující virtuální sériovou linku s volně dostupnými ovladači. [4], [5], [6]

## 2.2 Software Arduino IDE

Integrované vývojové prostředí Arduino neboli software Arduino IDE, obsahuje textový editor pro psaní kódu, oblast zpráv, textovou konzoli, panel nástrojů s tlačítky pro běžné funkce, kterými jsou ukládání souboru, mazání a podobně a další nabídky. [13], [14]



Obrázek 2.1: Arduino IDE, [40]

Před nahráním je nutné projekt zkomplikovat z důvodu možné chyby, tak jako ostatní programovací prostředí i Arduino poradí uživateli, kde se daná chyba může vyskytovat. Samotné nahrání kódu probíhá tak, že si uživatel zvolí z nabídky desku se kterou pracuje a port, na který je s PC připojen. Po těchto dvou krocích je možno projekt nahrát. [13], [14]

## 2.3 Vývojové desky

Arduino desky jsou složeny z 8bitových mikrokontrolerů AVR od firmy Atmel a dalších podpůrných obvodů. Celá řada desek nese typické grafické zpracování, u kterého převažuje modrá barva. První verze desky Arduino Uno obsahovala čip FTDI, který byl později nahrazen ATmega8U2. Dnešní oficiální Arduino desky používají čipy ATmega328, ATmega8, ATmega1280, ATmega168 a ATmega2560. [4], [5], [6]

Na všech deskách se nachází I/O piny, které jsou přístupné skrze standardizované patice. Do nich je možno připojit přídatné obvody neboli Shildy. Na desce můžeme najít diody, ICSP konektory

pro programování, tlačítko pro reset, konektor pro napájení, převodník pro komunikaci mezi čipem (USB) a PC a oscilátor. Některé typy převodníků neobsahují, buď z důvodu úspory místa, kdy se musí posléze využít externí převodníků, nebo čip již převodník obsahuje. V základní verzi Arduino UNO se nachází 14 I/O pinů digitálních a 6 analogových, které je možno využít i na PWM výstup řízený softwarově. Připojení k PC zajišťuje USB rozhraní, ale sériovou komunikaci zajišťuje linka RS-232. [5], [6]

Můžeme se setkat také s názvy desek, které mají doplňující označení Rev3 nebo R3, které označuje číslo verze konkrétní desky. Je udáváno v případě, kdy mohlo dojít ke změně rozložení součástek nebo designu. Nejde však o významnou změnu, při které by došlo k vytvoření zcela nové desky. [5], [6]



*Obrázek 2.2: Arduino UNO, [41]*

Výhodou pro uživatele je, že nemusí mít starost o detaily a programy píše v jazyce, který je podobný C/C++. Hlavní mikrokontroler má totiž bootloader (speciální kód, který zajistí základní nastavení mikrokontroleru) a požadované fuses bajty (nízkoúrovňové nastavení vlastností čipu). [5], [6]

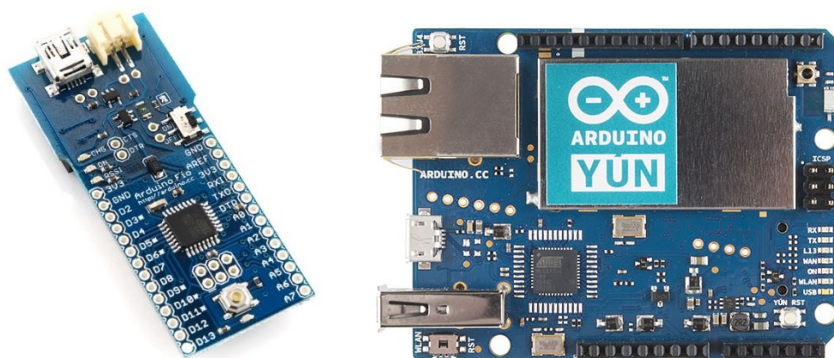
### 2.3.1 Knihovny

Jedná se o sbírku kódů, která usnadňuje komunikaci Arduina a následné připojení k senzoru, display, modulu a podobně. Na internetu jsou ke stažení stovky knihoven. Část knihoven je již automaticky vestavěna, další je nutné nainstalovat. [5], [6]

V práci je využito knihoven pro dotyk <UTFT.h> a <TFT\_Touch.h> a dále knihovna pro ESP modul <ESP8266WiFi.h>.

### 2.3.2 Typy desek

Nejvíce používaným typem desky je Arduino UNO, Obrázek 6. Je přímým nástupcem prvního Arduina, které mělo místo USB sériový port. Obsahuje procesor ATmega328 a USB. Z něj se dále vyvinuly i další speciální typy jako například Arduino Ethernet nebo Arduino Bluetooth. Další modifikace Arduina jsou například: Diecimila, Fio, Leonardo, Yún, Mega2560, Due, Esplora, Robot nebo Intel Galileo. [5], [6]



Obrázek 2.3: Zleva Arduino Fio, Arduino Yún, [42], [43]

### 2.3.3 Arduino klony

Otevřenost projektu dala za vznik i neoficiálním deskám, tzv. klonům. Jsou rozeznatelné díky koncovce -duino. Díky dostupnosti veškerých schémat, součástek a software je možno si Arduino postavit i samostatně na nepájivém poli. Některé desky jsou konstrukčně i součástkami takřka totožné s originálními Arduino deskami, jiné mohou být však přizpůsobené ke specifické činnosti. Některé typy klonů:

- Microduino – velmi malá deska kompatibilní s Arduinem,
- Bluno – deska kompatibilní s Arduino UNO se zabudovaným Bluetooth 4.0,
- Muscle (EMG) Sensors – deska se senzory pro elektromyografii,
- ArduPilot – autopilot pro letadla, kvadrokoptéry apod.,
- LABduino – český klon, složený z elektronické stavebnice MLAB,
- Seeduino, Freaduino – cenově dostupnější kopie. [6], [7]



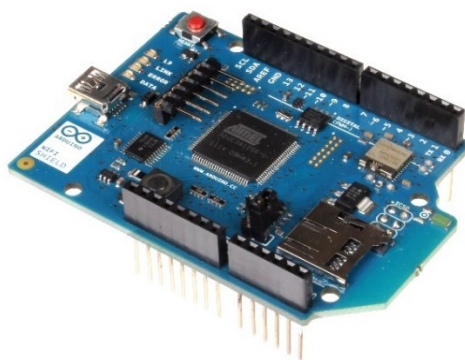
Obrázek 2.4: Svalové (EMG) senzory, [44]



### 2.3.4 Shieldy

Shieldy jsou desky, které mohou být připojeny na desku plošných spojů Arduino prostřednictvím pinů. Jejich základní vlastností je rozšíření schopností Arduina. Nesou stejnou filosofii – snadné k manipulaci a levné k výrobě. Využívají buďto všechny nebo jen některé piny a podle druhu se řídí komunikace. Důležité je kontrolovat kompatibilitu s Ardinem. Příklady nejznámějších shieldů:

- Motor Shield - k řízení servomotorů, stejnosměrných motorů a krokových motorů,
- Ethernet Shield – připojení Arduina k internetu,
- Wi-Fi Shield – bezdrátové připojení Arduina k internetu pomocí W-Fi sítě. [5], [6]



*Obrázek 2.5: Arduino Wi-Fi Shield, [45]*

## 3 Výběr komponentů

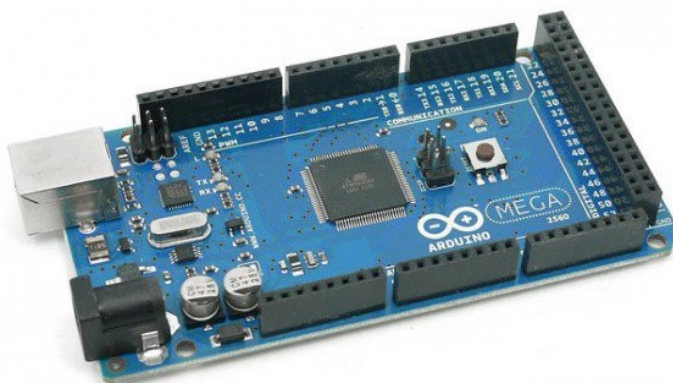
Lineární dávkovač, stejně jako ostatní zařízení, je složen z řady součástí, proto byl důležitý výběr jednotlivých komponentů, porovnání jejich vlastností a využitelnosti v daném zařízení. Stěžejními součástmi byla programovatelná deska a motor.

### 3.1 Výběr desky

Sestavení lineárního dávkovače začíná výběrem vhodné desky, která splňuje všechny požadavky. Aby sestavení, komponenty a komunikace byly možná co nejjednodušší a pořizovací náklady co nejnižší. Dále hrál velkou roli čip ESP8266 pro umožnění komunikace Wi-Fi.

#### 3.1.1 Arduino MEGA2560 REV3

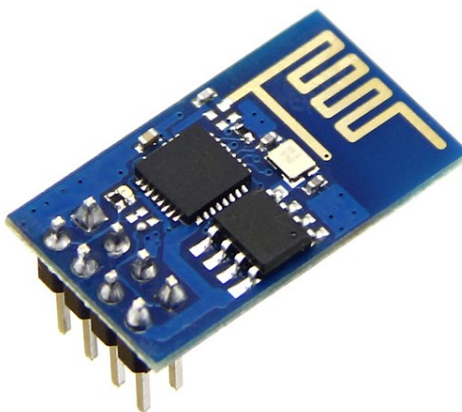
Arduino MEGA2560 splňuje požadavky z hlediska velikosti, protože je uzpůsobeno na napojení LCD displeje. Ovšem kvůli nedostatku pinů ve dvou řadách vedle sebe zde nastane problém. Je možnost bez problémů zapojit LCD displej, avšak zapojení ESP8266 modulu by se muselo provést na další desce například Arduino UNO. Možnost, jak tento problém vyřešit je nezapojit LCD display na TFT Shield, ale zapojit ho přes nepájivé pole, čímž značně omezíme místo a zvýšíme možnost chyby. ESP8266 modul zde není součástí desky, proto ho musíme připojit zvlášť.



*Obrázek 3.1: Arduino MEGA2560 REV3, [46]*

##### 3.1.1.1 ESP8266

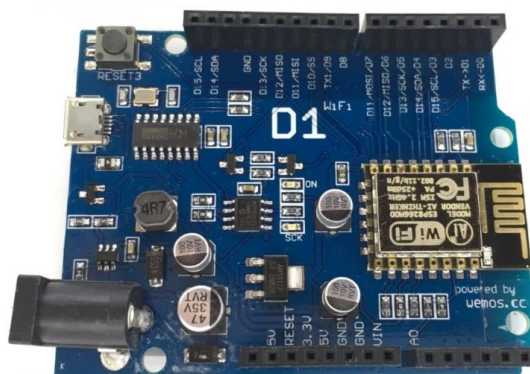
ESP8266 je levný čip Wi-Fi s plnou kapacitou TCP/IP a MCU (mikropočítačová jednotka). Je vyráběn čínským výrobcem Espressif Systems v Šanghaji. Modul je malý a v současné době je na trhu několik úprav, které se liší anténou. Ta může být buďto integrovaná nebo se zde nachází konektor pro zapojení externí antény. Je možno ho použít přímo jako řídicí mikrokontroler a programovalo by se v jazycích Lua nebo MicroPython, ale je možnost programovat ho jako Arduino. [8]



Obrázek 3.2: Samostatný čip ESP8266, [47]

### 3.1.2 WeMos D1

Tato deska již obsahuje Wi-Fi modul ESP8266, v čemž spočívá největší výhoda. Nevýhodou však je, že rozložení desky je podobné Arduino UNO, tudíž by byla potřeba využít další Arduino Mega2560, kvůli zapojení displeje. Další nevýhoda spočívá v tom, že při připojení 5 V na piny může dojít k poškození modulu, protože pracuje pouze na napětí o velikosti 3,3 V.



Obrázek 3.3: Deska WeMos D1, [48]

### 3.1.3 RobotDyn Mega + WiFi

Nejlepší volbou pro práci se stala deska Mega + Wi-Fi od RobotDyn. Modul ESP8266 je zde již zabudován, tudíž nebylo potřeba řešit jeho připojení. LCD displej perfektně sedí a zůstává zde dostatek pinů pro připojení krokového motoru a optického senzoru. Díky jediné desce je ušetřen dostatek místa, aby výsledný produkt nenabyl zbytečně velkých rozměrů. Bližší specifikace a technické parametry jsou rozepsány v oddílu použitých součástek.

## 3.2 Výběr motoru

Základem dávkovače je motor, který díky svým vlastnostem umožňuje přesný posuv pro pohyb pístu. Dále byla potřeba, aby jeho rozměry byly malé a aby konstrukce šla navrhnout pro tento typ zařízení. Na výběr byl motor lineární, krokový nebo servomotor. Níže jsou srovnávány základní vlastnosti, které byly v práci využity.

### 3.2.1 Lineární motor

Elektrický motor, vykonávající posuvný pohyb. Jedná se o netočivé zařízení bez rotujících pracovních částí. Místo toho, aby byl vytvořen točivý moment (rotaci), vytváří lineární sílu podél své délky. Patří mezi monopólové motory, to znamená, že jeho rotor i stator jsou uloženy v délce pojezdového vedení. Součástí aktivní části lineárního motoru jsou koncovky. Nicméně většina konvenčních motorů je ukončena spojitou smyčkou. Lineární motory se dělí na dvě hlavní kategorie – s nízkou a vysokou akcelerací. Zatímco motory s akcelerací nízkou jsou vhodné pro maglevové vlaky a další pozemní dopravní prostředky, ty s vysokou akcelerací jsou krátké, mají vysoké zrychlení a používají se například v CNC strojích. V současnosti zaujaly významné místo v modernizaci lineární techniky. [15]



Obrázek 3.4: Lineární motor, [49]

Provoz nezahrnuje žádnou součást, která by narušila plynulý průběh, tudíž je mechanicky přesný. Chod umožňuje vysoké rychlosti a zároveň téměř žádný zvuk při práci, tyto dva parametry nejsou však důležité pro výběr. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena motoru, lineárního vedení a velký rozměr, proto nebyl vhodný pro tuto práci. [16]

### 3.2.2 Servomotor

Využívá se pro elektrické, hydraulické či pneumatické pohony, u kterých požadujeme přesné nastavení polohy natočení osy. Pracuje na nižších otáčkách. Nastavuje se do výchozí polohy a tuto polohu se také po dobu provozu snaží udržet. Na rozdíl od motoru krokového obsahuje pole, které je mezi dvěma a více magnety permanentně magnetizováno. Jelikož se zde nenachází vinutí, které by tvořilo pole, zapojení je pouze dvouvodičové. [17]

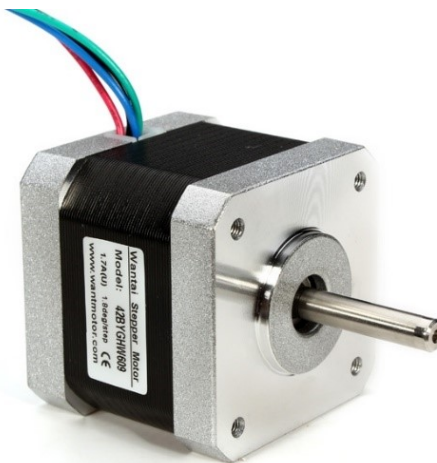
Výhodou je nízká pořizovací cena, dobrá podpora pro následné programování a dále fakt, že při stejném napětí jsou otáčky a také proud přímo úměrné momentu. Neposkytují však možnost plynulého otáčení, pouze otočení o daný úhel. Ten se pohybuje v rozmezí od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ , konstrukce by tudíž byla poměrně složitá. [16]



Obrázek 3.5: Servomotor, [39]

### 3.2.3 Krokový motor

Řadí se mezi synchronní motory což znamená, že se rotor točí s neměnnou rychlostí tak, jako magnetické točivé pole statoru. Pole je tvořeno postupně, zapínáním cívek statoru. V nízkých rychlostech je pohyb nespojitý a označuje se jako krokování. Je možno ho řídit oběma směry. [18]



Obrázek 3.6: Krokový motor, [38]

Nevýhodou je extrémní citlivost při přetížení a neposkytuje žádný zpětný údaj o skutečné poloze. Mezi výhody se řadí fakt, že se jedná o jediný zcela digitální motor. Pořizovací náklady jsou nízké, konstrukce je jednoduchá a zároveň robustní. Naprogramování jednotlivých kroků je přesné. I přes vyšší hluchost je nejvhodnější k použití pro tuto bakalářskou práci. [16]

## 4 Použité součástky

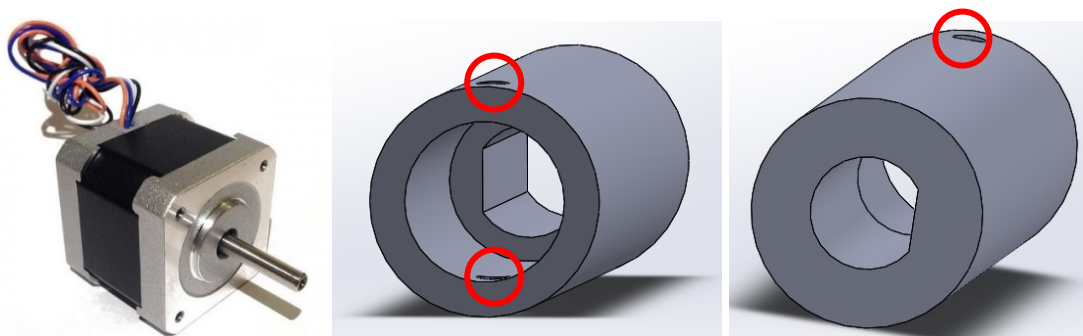
V této kapitole se práce zaměřuje na součástky, které byly vybrány pro práci.

### 4.1 Motor Microcon sx17-1005LQEF

Jedná se o krokový motor firmy Microcon, který je mimo jiný vhodný i pro 3D tisk. I přes malé rozměry je výkonný, především pro pohyby osy, u kterých je zapotřebí větší síla a zároveň přesnost. Krouticí moment je 0,5Nm, krokování uskutečňuje již od 1,8 stupně a tolerance kroku je  $\pm 1$  stupeň. To znamená, že v jedné otáčce provede 200 kroků. Zároveň lze provádět i mikrokrokování. Maximální proud je 1 A, který je nutno dodržet, aby nedocházelo ke zbytečnému přehřívání motoru a následnému poškození. Obsahuje 4 vývody délky 70 cm. Je nutné vědět, jak se má vinutí připojit k driveru a následně k mikrokontroleru. Na to poukazuje *Tabulka 4.1*. [10]

*Tabulka 4.1: Zapojení vinutí pro motor sx17-1005LQEF7, [10]*

zapojení vinutí – bipolární	sériové
A (1. fáze)	oranžová
/A (1. fáze)	černá
B (2. fáze)	modrá
/B (2. fáze)	bílá



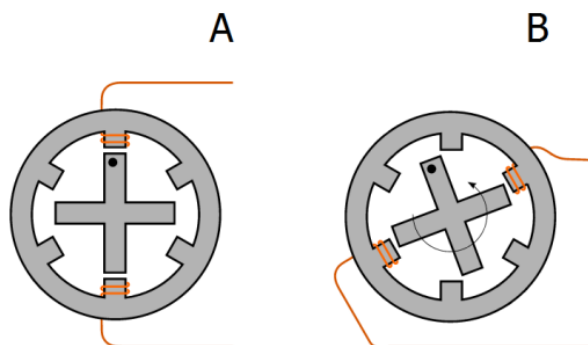
*Obrázek 4.1: Microcon sx17-1005LQEF a spojka na motor (přední a zadní pohled), [10]*

V současnosti jsou na trhu krokové motory se závitovou tyčí a trapézovým šroubem, jejich cena se však zvyšuje přibližně o 1/3 ceny původní. Kvůli nižším nákladům byla zakoupena trapézová tyč s maticí zvlášť a navržena spojka pro motor s tyčí (Obrázek 4.1). Výhodou je, že tyč, jdoucí z motoru je na jedné straně částečně zkosena, proto se spojka na tyči neprotáčí a nemusí se na ní spojka lepit nebo navrtávat tak, jak to byla potřeba provést u trapézové tyče. Na obrázku 4.1 můžeme vidět otvor ve spojce (zaznačen červeně), do kterého se pomocí závitníku M3 vytvořil závit a díky otvoru v trapézové tyči (ten byl vyvrtán) se šroubek velikosti M3 zašrouboval do spojky z obou stran.



#### 4.1.1 Popis krokového motoru

Krokový motor se skládá ze dvou základních komponent, a to rotoru a statoru. Stator obsahuje soupravu cívek, většinou to jsou čtyři dvojice, jejichž zapojení může být různé. Rotor je pohyblivou částí motoru a jedná se o váleček z magnetického materiálu na kuličkových ložiscích s vystouplými póly. [19], [20], [21]

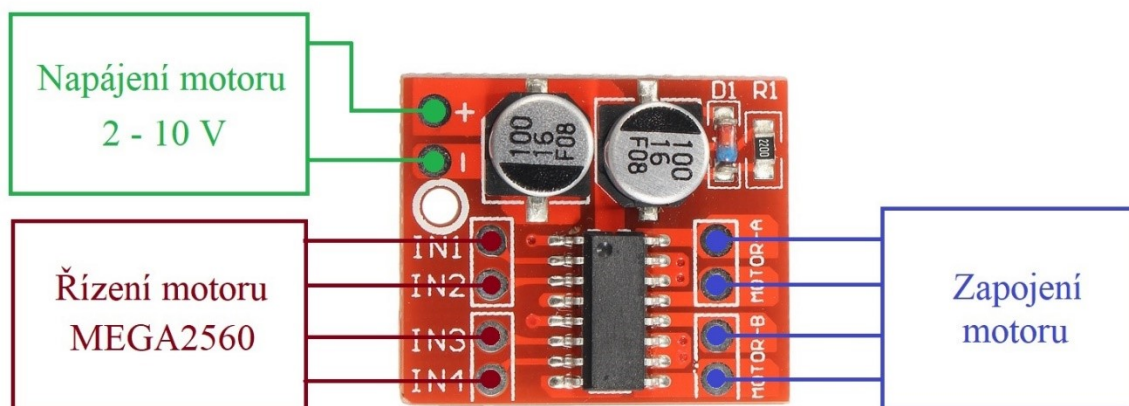


Obrázek 4.2: Pohyb krokového motoru, [19]

V poloze A je na obrázku proud, který teče cívkami a vyvolává magnetický tok procházející rotorem, kde je magnetický odpor nejnižší. V ostatních cívkách proud neprotéká. V poloze B se po přepnutí činné cívky vytvoří magnetický tok jinde. Dojde k natočení rotoru tak, aby byl magnetický odpor co nejmenší ( $60^\circ$  vlevo). Následným přepínáním ostatních cívek se pohybuje rotor. [19], [21]

#### 4.2 H-můstek mini L298N

Motorový pohonný modul je vhodný pro řízení krokových motorů. Napájecí napětí je 2 až 10 V a je schopen současně pohánět dva stejnosměrné motory nebo jeden 4 drátový, 2 fázový krokový motor. Je možno dodávat konstantní proud o maximální hodnotě 1,5 A. Špičkový proud dosahuje až 2,5 A s nutným chlazením. Je zde zabudovaný spínač pro nízký odpor obvodu MOS, dochází k minimální produkci tepla, má nízkou spotřebu a malé rozměry. Je opatřen 10 zdičkami pro připojení drátků. [22], [23]

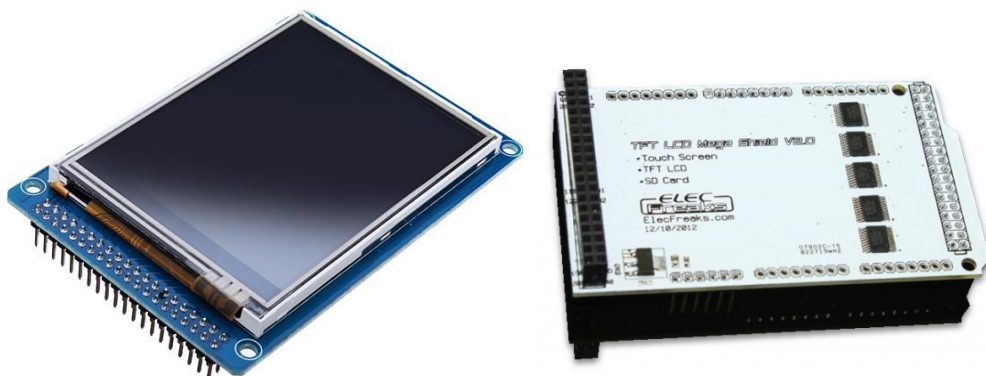


Obrázek 4.3: Zapojení H-můstku, [22]

### 4.3 LCD dotykový display 3.2"

Součástí displeje je TFT LCD modul s SD slotem a dotykovou obrazovkou. Řízení probíhá srze řadič ILI9341 s 16 bitovým módem. Je možno zobrazit až 262 tisíc barev. Rozlišení displeje je 240 x 320 pixelů. Detekuje se pouze jeden stisk, a to díky rezistivní dotykové vrstvě. Napájení je možno pouze napětím o velikosti 3,3 V. Pro tento displej je nutno stažení potřebných knihoven. [12]

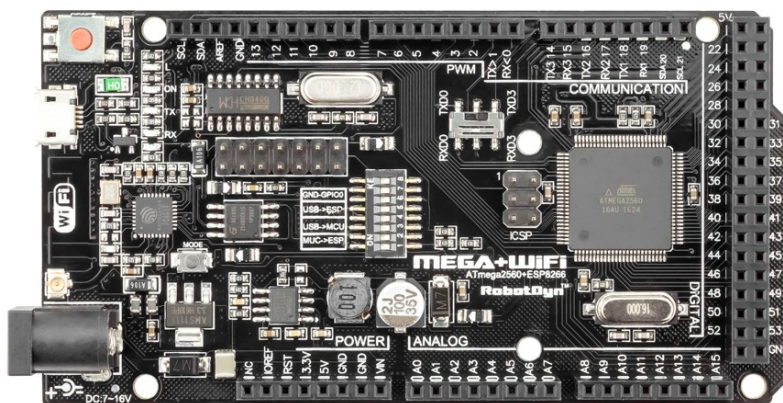
Z důvodu napájení 3,3V byl pro zjednodušení použit Arduino Mega TFT LCD shield kompatibilní s deskou Arduino Mega2560. Je zároveň vhodný pro různé velikosti displejů a poskytuje jednoduché připojení Arduina a LCD. [24]



Obrázek 4.4: LCD dotykový display 3.2" a TFT LCD shield, [12], [25]

### 4.4 Řídící jednotka RobotDyn Mega2560 + WiFi

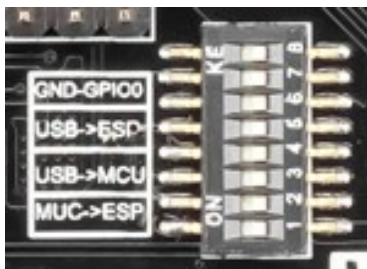
Jedná se o přizpůsobenou verzi klasické desky Arduino Mega R3. Na jedné desce jsou plně integrovány mikrokontroler Atmel ATmega2560 s IC Wi-Fi ESP8266 a USB – TTL konvertoru CH340G na jedné desce. Všechny moduly jsou schopny pracovat společně nebo nezávisle na sobě. Díky nastavení přepínačů lze použít samostatně ESP8266 nebo ATmega2560 nebo ATmega2560 a ESP8266. Hlavní čipy jsou ATmega2560 a ESP8266. Provozní napětí je 3,3 V/5 V a vstupní napětí 5 V–16 V. Obsahuje 54 digitálních a 16 analogových vstupů. [9]



Obrázek 4.5: Mega2560 + Wi-Fi, [9]



Na desce se nachází 8 přepínačů, které umožňují nastavení provozního režimu. Poloha přepínače nahoru k nápisu ON značí, že je přepínač zapnutý, v opačném případě vypnutý. Jak mezi sebou přepínače vzájemně komunikují a jejich funkce ukazuje tabulka 4.2. [9]

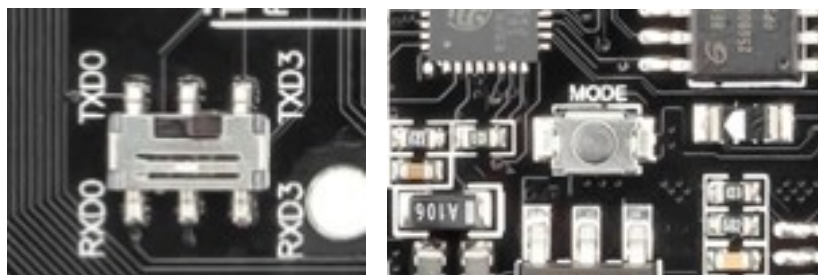


Obrázek 4.6: Přepínač režimů, [9]

Tabulka 4.2: Přepínání režimů na desce, [9]

Připojení	1	2	3	4	5	6	7	8
USB ↔ ESP8266 (načtení skeče)	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	bez užití
USB ↔ ESP8266 (připojení)	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF	bez užití
USB ↔ ATmega2560 (načtení skeče)	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	bez užití
USB ↔ Mega2560 COM3 ↔ ESP8266	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	bez užití
Mega2560 ↔ ESP8266	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	bez užití
Všechny moduly pracují nezávisle na sobě	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	bez užití

Obsahuje také přepínač pro změnu připojení portu mezi ATmega2560 a ESP8266. Důležité je, abychom při programování modulu ESP8266 zmáčkli tlačítko ‚Mode‘. [9]



Obrázek 4.7: Zleva přepínač pro změnu připojení mezi ATmega2560 a ESP8266 a tlačítko ‚Mode‘, [9]

## 5 Návrh a konstrukční řešení lineárního dávkovače

Návrh konstrukce zahrnoval přesné změření rozměrů injekční stříkačky, motoru, desky, LCD displeje a baterky. Měření bylo prováděno pro každou součástku zvlášť a následně byly vytvářeny modely v programu SolidWorks.

Stěžejní byla úchopná část pro injekční stříkačku. Ta je složena ze dvou částí, úchopu hlavice a bočního úchopu. Obě části mají zvlášť vymezen prostor pro stříkačku o objemu 30 ml a 50 ml. Dále byla vymodelována boční část pro stlačování pístu injekční stříkačky, která se posunuje po trapézové tyči a dvou pojezdových tyčích.

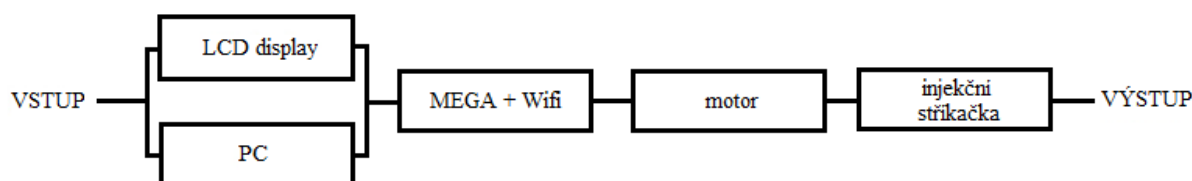
Přední a koncová část obsahují mikropínače, které jsou zde implementovány z důvodu ochrany. Když pojezdový píst dojde na začátek (nebo konec), dojde ke stisku mikropínače, který je naprogramován tak, že zastaví chod motoru.

Vnitřní struktura je tvořena motorem, k jehož středové rotační části je připevněna trapézová tyč s maticí. Z každé strany trapézové tyče je zasazena pojezdová tyč, na níž jsou umístěna pojezdová ložiska pro hladký pohyb. Hlavní funkcí pojezdových tyčí je především stabilita posuvu a zabránění nadbytečných otřesů.

Důležitým vnitřním komponentem je Mega2560 s čipem ESP8266, ke které je napojen jak motor, tak i LCD displej. Napájení je zajištěno prostřednictvím spínaného zdroje 12 V/1,5 A. Jelikož je vstupní napětí příliš velké, je zde připojen DC/DC snižující měnič, který omezí napětí na 4 V.

Motor je naprogramován přes Arduino tak, aby dle nastavených požadavků pro rychlost a čas, proběhlo přesné krokování. Program, který řídí krokování je vázán na data, navolená uživatelem na LCD displeji. Zadaná data se zároveň posílají do aplikace vytvořené v C#.

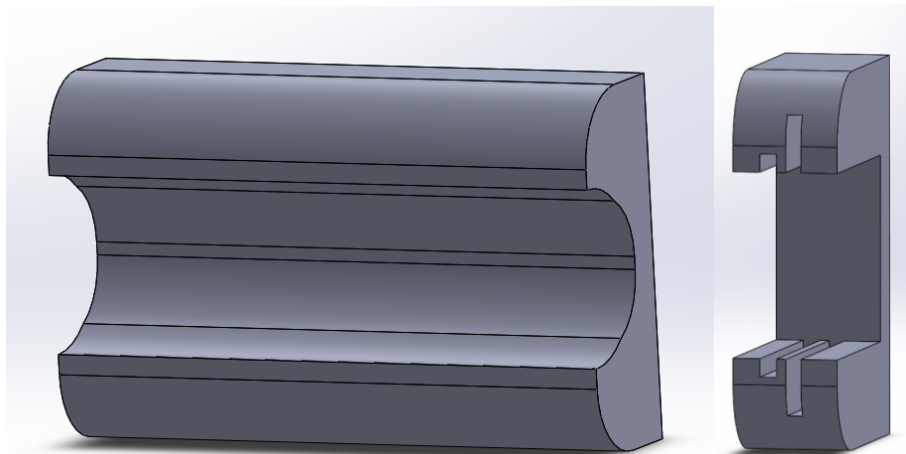
Komunikace mezi deskou a počítačem, vytvořená podle modelu klient-server, probíhá prostřednictvím Wi-Fi. Při každém spuštění programu, se vytvoří Access Point (přístupový bod), na který se PC připojí a může probíhat komunikace. Data, která uživatel nastaví se rovněž posílají do aplikace, z níž po stisku tlačítka „Odeslat“ se data uloží do lokálně vytvořené databáze.



Obrázek 5.1: Grafické zobrazení soustavy

## 5.1 Úchop pro injekční stříkačku

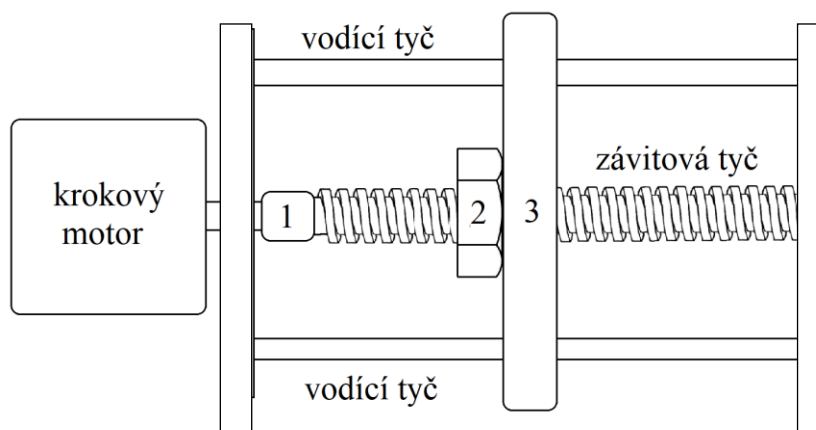
V současnosti se využívají především injekční stříkačky o velikosti 30 ml a 50 ml. Tyto dvě velikosti byly přesně naměřeny a výsledný model je vyroben na míru těmto dvěma typům. Úchop pro výstupek pro zaklínění prstů byl vytvořen tak, aby injekční stříkačka stabilně držela při dávkování a nedošlo k vychýlení. Tyto dvě části byly vytisknuty zvlášť, a následně spojeny dohromady.



Obrázek 5.2: Zleva boční úchop těla injekční stříkačky a úchop pro výstupek pro zaklínění prstů

## 5.2 Mechanismus pro posuv

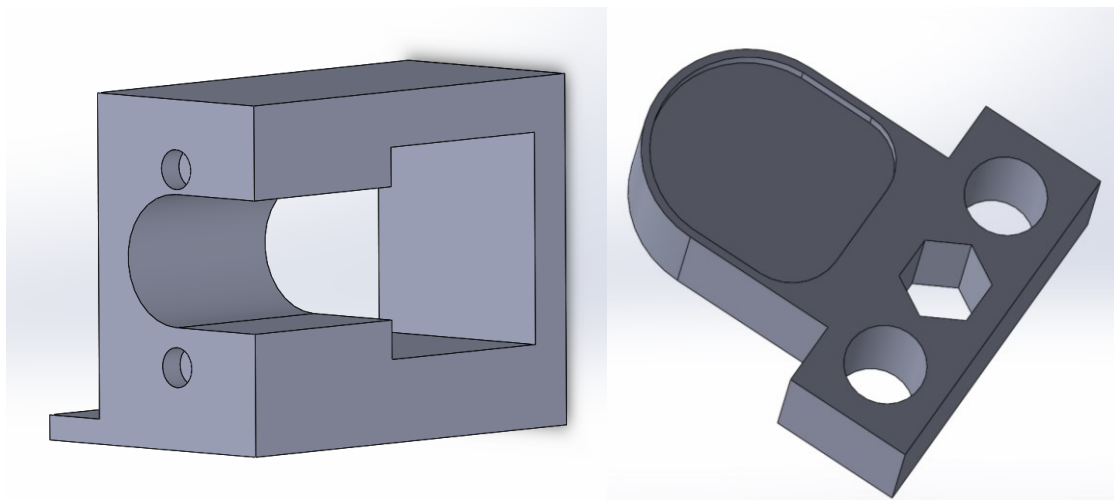
Dvě vodící tyče jsou upevněny v koncových částech vytištěných na 3D tiskárně. Ve středové části je umístěna závitová tyč a na ní přes trapézovou matici upevněn pojezdový píst. Ten také obsahuje pojezdová ložiska pro plynulý pohyb po vodících tyčích.



- 1 - spojka mezi krokovým motorem a závitovou tyčí
- 2 - trapézová matice
- 3 - pojezdový píst

Obrázek 5.3: Posuvný mechanismus

Krokový motor je propojen plastovou spojkou se závitovou tyčí. Konstrukce byla navržena tak, aby přesně seděla na matici a pojezdová ložiska. Motor je pevně zasazen, aby byl jeho pohyb stabilní a nerušený.

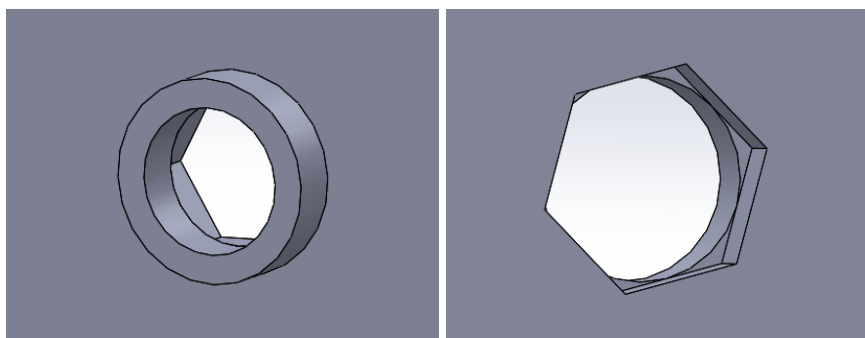


Obrázek 5.4: Zleva: Upevnění pro motor a posuvný mechanismus vytvořený v SolidWorks

### 5.3 Napájení soustavy

Pro testování byl použit laboratorní zdroj, aby nedocházelo ke zbytečnému přetěžování soustavy a zjistilo se, jaké napětí je třeba ke stabilnímu chodu lineárního dávkovače. Byl využit síťový adaptér Freebox spínaný s napětím 12 V, proudem 1,2 A a koncovkou 5,5 x 2,5 mm. Jelikož přiváděné napětí 12 V je pro napájení H-můstku, krokového motoru i MEGY zbytečně velké, je na soustavu připojen DC/DC měnič LM2596 snižující, díky němuž je umožněna úprava na požadované hodnoty. Využitím laboratorního zdroje bylo zjištěno, že pro napájení soustavy jsou 4 V dostatečnou hodnotou napětí. Proud byl měničem omezen na 1 A, aby při poruše nedošlo ke zničení motoru.

Napájecí konektor s rozměry 2,1 x 5,5 x 9,5 mm byl využit pro připojení k desce RobotDyn MEGA2560, jejíž součástí je napájecí zdířka a vstupní napájení je 7–12 V DC.



Obrázek 5.5: Návrh pro vložení napájecí zdířky s matkou vytvořený v SolidWorks

Do soustavy byla implementována panelová napájecí zdířka s matkou o velikosti 2,5 mm. Na tu se připojuje konektor z napájecího zdroje. Z této napájecí zdířky jsou vyvedeny dráty k H-můstku a do napájecího konektoru MEGY.

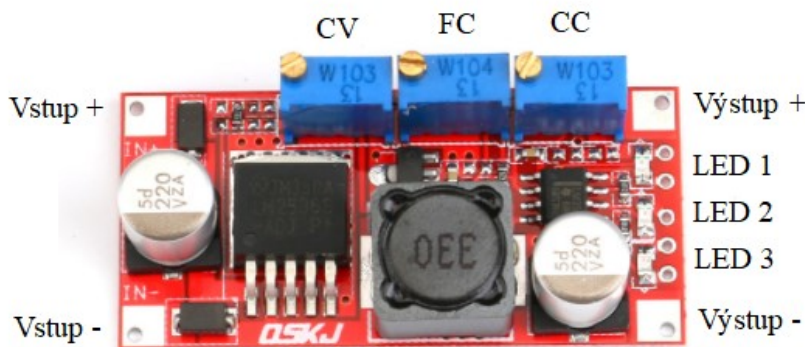
### 5.3.1 DC/DC měnič LM2596

Snižující DC/DC měnič LM2596, sloužící k nastavení napětí a proudu. Výkon má maximálně 10 W, účinnost se pohybuje okolo 92 %. Vstupní napětí může přicházet v rozmezí hodnot 7–35 V a napětí výstupní je možno regulovat od 1,25–30 V víceotáčkovým trimrem. Díky regulaci výstupního proudu může fungovat i ve stavu neměnného proudu. Součástí jsou indikační a ovládací prvky. Obsahuje 3 modré regulační trimry:

- CV – regulace výstupního napětí (Control Voltage),
- FC – indikace dobití (Full Charge),
- CC – omezení výstupního proudu (Control Current).

Dále 3 indikační LED diody:

- LED 1 – režim konstantního proudu (CC/CV),
- LED 2 – dobíjení (modrá, CH – Charge),
- LED 3 – indikace přítomnosti výstupního napětí (červená, OK). [26]



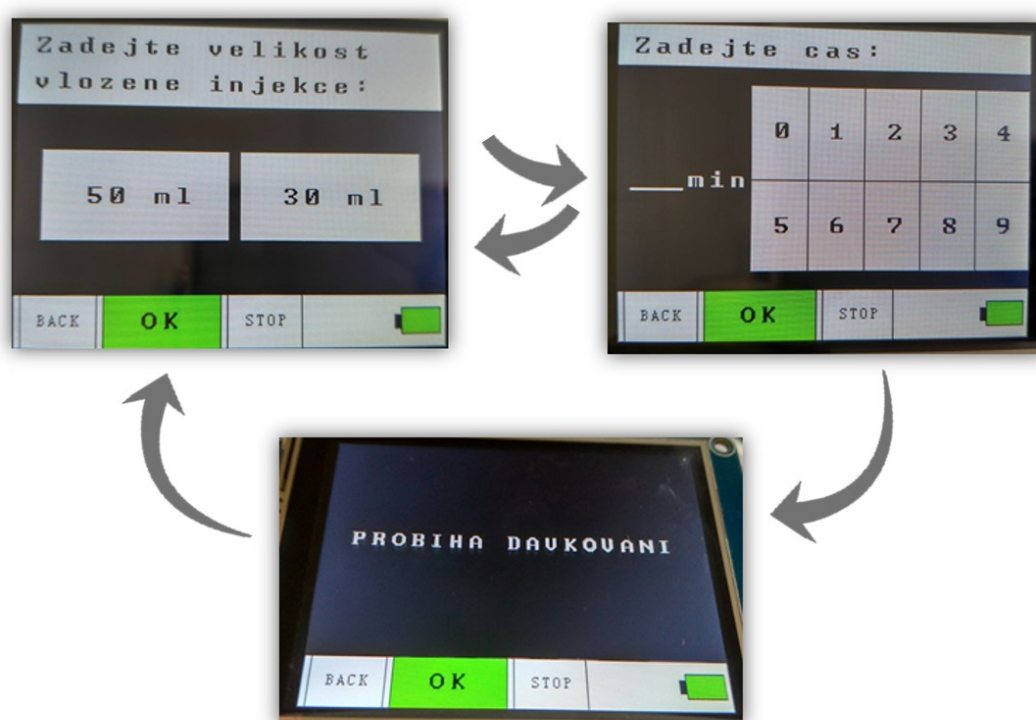
Obrázek 5.2: Snižující DC/DC měnič LM2596, [27]

## 5.4 Programové řešení LCD displeje

Základem byla správná kalibrace displeje. Arduino nabízí různé příklady projektů a možnost stáhnout již předpřipravené knihovny, nabízející další rozšíření. Součástí knihoven jsou i již vytvořené projekty pro kalibraci. Pokud je displej správně připojen k jednotce a PC, může se na desku nahrát program, který při stisku konkrétních bodů na obrazovku vypíše souřadnice. Pro správné použití je nutno tyto souřadnice zadat do hlavičkového souboru příslušné knihovny. V programu se také musí inicializovat LCD displej. To se provádí implementací správného typu displeje. U displeje velikosti 3,2 palce je to ILI9341\_16, a zapsáním pinů, na kterých je připojen. Zároveň je potřeba inicializovat řadič dotykové vrstvy, to se provádí opět voláním funkce z knihovny pro dotykový displej.

V rámci prvotního nastavení se vytvoří proměnné, sloužící k nastavení dotykového displeje. Dále je nutno zadat takové hodnoty pro velikost displeje, aby bylo možno správně detekovat dotek.

Řídící jednotka byla naprogramována tak, aby umožňovala přechod mezi třemi hlavními uživatelskými nabídkami. Vykreslení objektu se váže k souřadnicím X1, Y1, X2 a Y2. Pro uživatele je nutností znát pouze souřadnice pro vykreslování. Dále je možno zvolit velikost písma, jeho styl a barvu.



Obrázek 5.3: Schéma funkčnosti a vzhled displeje – Menu 1, 2 a 3

Každé menu obsahuje spodní lištu, ve které je tlačítko BACK – zpět, OK – potvrzení a STOP, sloužící k zastavení dávkování. Na první stránce tlačítka aktivní nejsou, aktivní je pouze výběr objemu. Po stisku tlačítka 50 ml nebo 30 ml se systém přepne na následující stránku pro zadání hodnoty času. Na tomto listu uživatel zadává čas v minutách. Zadávaný čas musí být v rozsahu od 1 do 99. Pro potvrzení slouží tlačítko OK, pokud uživatel zadá chybný údaj, může se vrátit zpět pomocí tlačítka BACK. Po potvrzení řídicí jednotka zobrazí třetí stranu, kde je vypsána informace, že probíhá dávkování. Pokud by uživatel chtěl průběh dávkování zastavit, může stisknout tlačítko STOP a posuvný mechanismus se vrátí do výchozí startovací polohy.

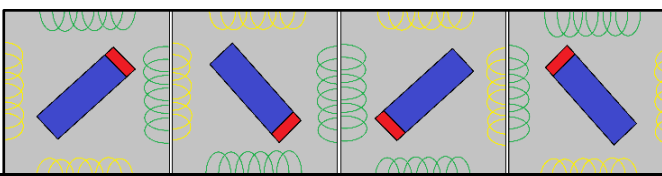
## 5.5 Programové řešení dávkování

Řízení motoru je prováděno na základě níže uvedené *Tabulky 5.1*. Ta slouží pro řízení bipolárního dvoufázového motoru s plným krokem pomocí H-můstku. Magnetické pole zelené cívky, které označeno znakem '-' přitahuje rotor (konec magnetu) červené barvy. Magnetické pole žluté cívky pod znakem '+' přitahuje konec magnetu označený modrou barvou. Jelikož se při jednom kroku motor otočí pouze o  $1,8^\circ$  je zcela dostačující řízení plným krokem.

Po zapnutí přístroje se pojezdový píst automaticky vrátí na začátek, kde dojde prostřednictvím koncového spínače k jeho zastavení, bez ohledu na to, v jaké pozici se před zapnutím nacházel. Je důležité, aby se motor dostal do známého stavu a bylo možné pomocí kroků zjistit polohu mechanismu. Krokový motor je nutné po spuštění nastavit do stavu prvního kroku dle *Tabulky 5.1* tak, aby jeho následující krok plynule navázal na předchozí. Po potvrzení parametrů se dávkování. V první fázi dojde pojezd mechanismu k pístu injekční stříkačky podle toho, na jaký objem je nastaven. [20]



Tabulka 5.1: Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem, [20]



Cívka 1	-	+	+	-
Cívka 2	-	-	+	+
Cívka 3	+	-	-	+
Cívka 4	+	+	-	-

V této práci jsou nastaveny pouze dvě objemové hodnoty a to pro 30 ml injekční stříkačku (30 ml) a pro 50 ml injekční stříkačku (50 ml). Je to z důvodu, že se jedná pouze o prototypní zařízení, a pro ukázkový model lineárního dávkovače jsou tyto možnosti volby dostačující. Po dosažení odměřených kroků se pojezdový píst zastaví přímo u injekční stříkačky. Čeká tři vteřiny, a poté se spustí dávkování. To funguje na základě interního přerušení časovače. Při němž se vyvolá funkce, která pootočí motor vždy o jeden krok. Ve funkci `zahajeni_davkovani()` je podmínka, která podle zadaného množství mililitrů provede výpočet. Vynásobí se `delkaPodani` (doba, která byla zvolena uživatelem) s 60 000 000, to z důvodu, že nastavení intervalu interního časovače je v mikrosekundách. Získaná hodnota se poté vydělí počtem kroků, potřebných pro dokončení dávkovacího cyklu a spustí se dávkování.

## 5.6 Programové řešení ESP8266 čipu

Komunikace mezi deskou a počítačem probíhá díky integrovanému čipu ESP8266 v desce. Základem tohoto spojení je knihovna `<ESP8266Wifi.h>`, která přímo slouží k účelům programování čipu.

Je nutné si na počátku nadefinovat číslo serveru, ke kterému posléze proběhne připojení přes C# aplikaci. Číslo portu může být nadefinováno pod jakoukoli hodnotou. V práci byla zvolena hodnota 3333. Je to především z toho důvodu, že čísla od 1 do 1023 by se využívat neměla, neboť jsou rezervovaná pro systémové aplikace. Jelikož je komunikace postavena na protokolu TCP/IP, je nutno nadefinovat IP adresu. Každé zařízení připojené k síti musí mít jedinečnou IP adresu, aby se odlišila od ostatních. Je složena ze čtyř segmentů, které se nazývají oktety a jsou odděleny periodou. Dalším nadefinovaným celkem je subnet, ten slouží k rozdělování sítě na spravovatelnější bloky. Pro použití zařízení v různých sítích slouží gateway, definuje zařízení s nejvyšším postavením a zároveň propojuje dvě sítě s rozdílnými komunikačními protokoly. Všechny tyto tři celky je nutno nakonfigurovat. V hlavní smyčce probíhá získání reference na připojeného klienta, v cyklu `while` poté posílání a přijímání dat klientem. [50]

### 5.6.1 TCP/IP

Jedná se o typ protokolu, který je složen ze dvou nevíce používaných. TCP protokol transportní, tedy třetí vrstvy TCP/IP modelu, který rozkládá zprávy do sekvence jednotlivých paketů na zdrojovém uzlu, a pak je následně znovu sestavuje do původních zpráv na cílovém uzlu sítě. IP protokol se stará o adresování paketů napříč celou sítí (či mimo ni) na základě IP adresy, kdy přidává data do IP hlavičky. Jeho součástí je skupina protokolů pro propojení s počítačovou sítí, udává, jak by se měly počítačové sítě budovat, a také jakým způsobem by měly fungovat. Zároveň je hlavním protokolem pro Internet. Protože se v dnešní době vyskytuje velké množství problémů v síťové komunikaci, člení se architektura TCP/IP do čtyř vrstev:

- aplikační vrstva – součástí jsou aplikační programy, komunikující přímo s transportní vrstvou,
- transportní vrstva – zajišťuje cestu mezi dvěma koncovými body,
- síťová vrstva – zajišťuje přenos jednotlivých paketů od odesílatele, přes případné směrovače (brány), až k příjemci,
- vrstva síťového rozhraní – zajišťuje vše, co se týče cesty přenosu a je závislá na jeho technologii, zároveň může představovat jednoduchý ovladač, ale pokud se systém napojuje na například síť lokální, může tvořit komplikovaný subsystém. [30], [31]



## 6 Počítačová aplikace v C#

Komunikace mezi MEGOU2560 a řídicí jednotkou probíhá na základě modelu klient-server prostřednictvím Wi-Fi. Jak již bylo zmíněno, po připojení soustavy na napájení, se automaticky vytvoří Access Point (přístupový bod), na který se PC připojí. Vytvoření proběhne díky ESP8266 čipu, který obsahuje řídicí jednotka. Tento Access Point se nachází pod názvem ESP\_8C8120. V aplikaci je využito TcpClienta, který poskytuje klientské připojení pro síťové služby protokolu TCP, na jehož architektuře stojí programování čipu ESP. Dále je nutno nadefinovat IP adresu serveru a port, přičemž obě hodnoty musí být shodné s hodnotami nadefinovanými v programu pro čip. Celá komunikace běží ve vlákne, k němuž se přiřadí metoda, která se dále definuje. V metodě se vytvoří proměnná TcpClient a připojí se ke komunikačnímu modulu Arduina. Prostřednictvím funkce tcpClient.GetStream() probíhá obousměrná komunikace. Vyžádají se data, která se následně přečtou a uloží do lokální proměnné Stringu. Pokud data nabydou nějaké hodnoty, oddělí se pomocí čárky, a prostřednictvím metody Invoker se přistoupí ke GUI, kde se vrstva pozmění na příchozí zadat zvolená na LCD displeji (objem a čas).

Id_Pacient	Jmeno	Příjmeni	Objem	Doba_podani	Podany lek
1	Denisa	Kurowská	50	25	Dopamin
2	Barbora	Veselská	30	35	Furosemid
3	Tomáš	Dadok	50	50	Remifentanyl
4	Patrik	Ponikva	30	15	Furosemid
5	Nela	Skulová	30	20	Dopamin
6	Jakub	Špiláček	50	40	Remifentanyl

Obrázek 6.1: Vzhled aplikace vytvořené v C#

### 6.1 Model klient-server

Tato architektura zajišťuje programový vztah, kde jeden program (klient) požaduje prostředek nebo službu z jiného programu (server). V této práci je serverem čip ESP8266 a klientské požadavky se posílají z LCD displeje přes MEGU2560.

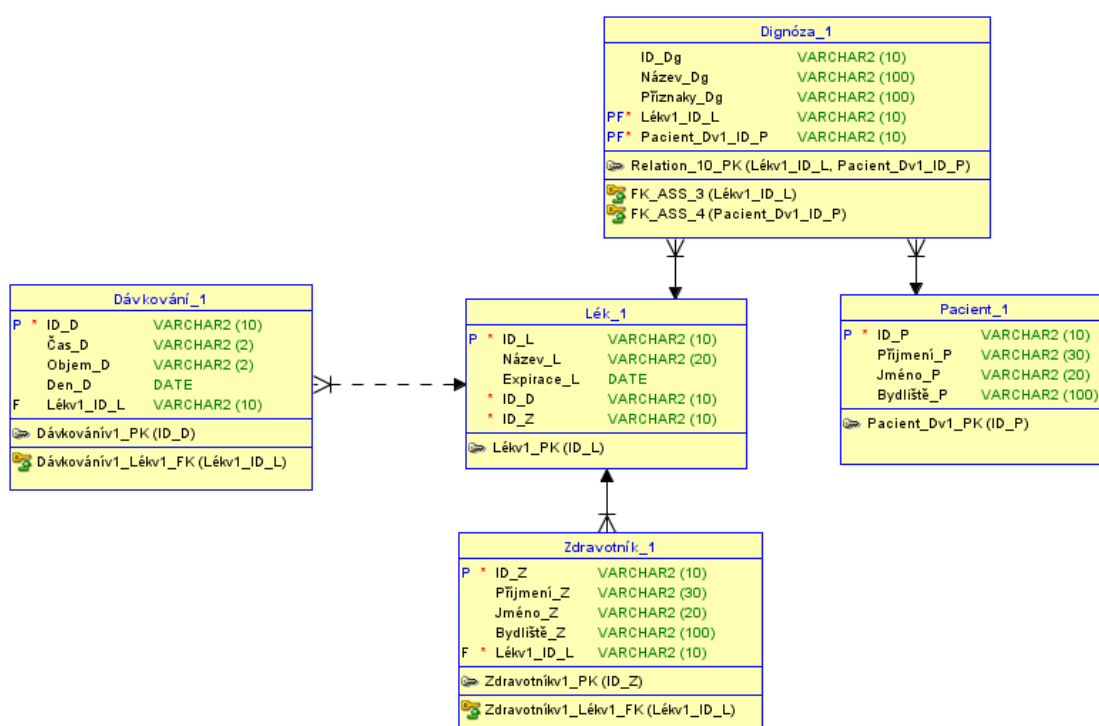
Komunikace nejčastěji probíhá prostřednictvím počítačové sítě na hardware, ale jak klient, tak server se mohou nacházet v totožném systému. Zatímco server může spouštět jeden či více programů běžících na serveru, které sdílejí své zdroje s klienty, klient nesdílí žádné ze svých zdrojů. Požaduje však funkci či obsah služby serveru. Servery jsou klasifikovány podle služeb, které poskytují například souborový server slouží k souborům počítače, webový server pak k webovým stránkám. Sdíleným zdrojem může být jakýkoli software počítače a elektronické komponenty, od programů dat, až k procesorům a paměťovým zařízením. [28], [29]

## 7 Databáze

Součástí práce byl návrh databáze pro sdílení dat. Ačkoli funkční databáze, zobrazující data z měření je vytvořena lokálně, návrh byl proveden prostřednictvím programu Oracle.

### 7.1 Návrh databáze v Oracle

Oracle poskytuje možnost jednoduchého vytváření logických i relačních modelů a zároveň celých databází. Nicméně propojení se samotnou aplikací již není snadné. V práci bylo využito školní licence pro tvorbu celkového návrhu databáze, který by mohl být dále rozvinut a propojen přímo s Nemocničním informačním systémem.



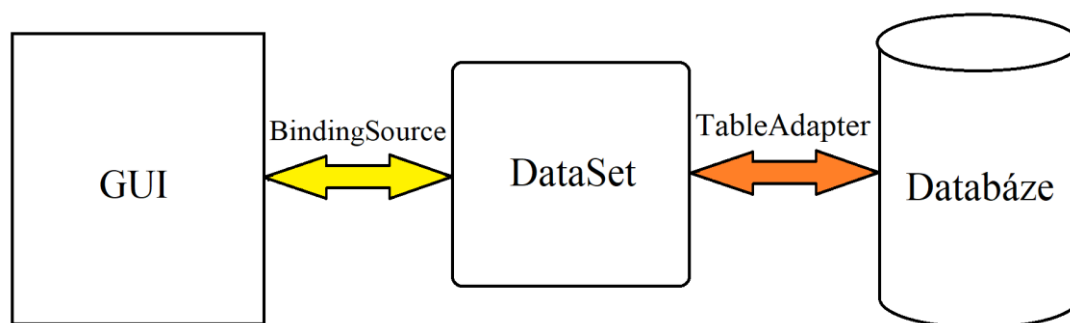
Obrázek 7.1: Relační model vytvořený v Oracle

V relačním modelu můžeme vidět jednotlivé vztahy mezi entitami, které byly vytvořeny prostřednictvím vazeb 1:N nebo M:N, a tudíž poskytuje jednoduchou ukázkou databáze. Každá tabulka musí obsahovat primární klíč, v tomto případě se vždy jedná o ID. Pro uživatele je zde možnost vkládání dat, jako jsou nové diagnózy a jejich příznaky, léky, které by měly být v těchto případech podány, a v jakém množství. Zároveň je žádáno, aby při aplikaci léku bylo uvedeno, který zdravotník jej aplikoval a jakému pacientovi byl podán.

Zdravotník, který bude databázi vyplňovat a zadávat do ní údaje, by měl využít aplikace pro vkládání, protože není vhodné provádět tyto příkazy skrze příkazové řádky. Tuto myšlenku je však nutno rozvinout do další práce, která bude poměrně náročná, jelikož bude zahrnovat tvorbu podstatně rozsáhlé části systému, na což v této práci nebyly kladeny požadavky.

## 7.2 Lokálně vytvořená databáze ve Visual Studio

Nejjednodušším způsobem pro vytvoření databáze, která jednoduše komunikuje s aplikací C# je tvorba lokální databáze prostřednictvím Visual Studia. Samotná tvorba databáze probíhá poměrně snadno, obdobně jako by byla tvořena ve kterémkoli jiném databázovém programu (Oracle, MySQL apod.). K databázi je přistupováno přímo, proto bylo nutno nadefinovat cestu, kde se databáze nachází. Vyhledávání v databázi se provádí prostřednictvím klasických databázových příkazů jako například `SELECT * FROM apod.`



Obrázek 7.2: Schéma využití komponent

Schéma zobrazuje, jakým způsobem databáze komunikuje s GUI. Pro ukládání do databáze je nutno pro všechny požadované řádky správně nadefinovat, který řádek v databázi odpovídá řádku v aplikaci. Aplikace poté skrze komponentu DataGridView umožní zobrazovat data tabulky. Při prvním uložení se může zdát, že se data neukládají, protože se nezobrazují ve zmíněné DataGridView. Je to z důvodu, že nově uložená data se již neukládají do prvotně vytvořeného souboru s databází, ale do jeho kopie, která se nachází ve složce bin, kterou obsahuje každá aplikace Visual Studia. Problém byl vyřešen tak, že nový soubor byl vytažen mimo cílovou složku a v databázi se změnila cílová cesta.

### 7.2.1 DataSet

Slouží pro komunikaci s databází. Jde o třídu se stejnou strukturou jako je samotná databáze. Jeho součástí jsou tabulky, které umožňuje vyplňovat daty. [32]

### 7.2.2 TableAdapter

Třída, sloužící k přístupu k databázi z DataSet. Pro každou tabulku se definuje jen jedna. Obsahuje informace o databázovém připojení, její součástí jsou metody, umožňující vyplnění tabulky daty v DataSetu a následné odesílání do databáze. [32]

### 7.2.3 BindingSource

Součást, díky níž je umožněn tok dat z DataSetu do GUI. [32]

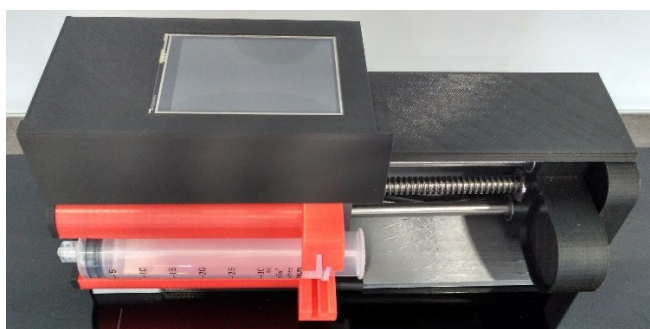
## 8 Výsledky

V rámci bakalářské práce bylo provedeno testování, zdali dávkování probíhá stejně pokud je injekční stříkačka naplněna, či nikoli. Ze znalostí o krokových motorech by k rozdílům v dávkování nemělo docházet, jelikož soustava je napájena dostatečným napětím, které je schopno injekční stříkačku stlačit i kdyby jejím obsahem byla velmi hustá tekutina. Nejvyšší možný výkon motoru je 10 W, systém však pracuje na hodnotě okolo 3 W, ten je pro provoz soustavy zcela dostačující. Testování probíhalo pro oba objemy a pro různě volené časy, ty byly měřeny na stopkách, zdali odpovídají zadaným hodnotám. Injekční stříkačka byla naplněna vodou, která simulovala medikament.

*Tabulka 8.1: Zkoumané a změřené parametry*

Číslo měření	Zvolené parametry		Naměřené parametry	
	Objem (ml)	Čas (min:s)	Objem (ml)	Čas (min:s)
1.	50	15:00	50	14:58
2.	50	10:00	50	10:01
3.	50	9:00	50	8:59
4.	50	7:00	50	7:00
5.	50	5:00	50	5:01
6.	30	15:00	30	15:00
7.	30	10:00	30	10:00
8.	30	9:00	30	8:58
9.	30	7:00	30	7:00
10.	30	5:00	30	5:02

Z hodnot v *Tabulce 8.1* je patrné, že naměřené parametry odpovídají předpokladu o dostatečném napájení soustavy. Zároveň se měřením ověřilo, jakým způsobem a jak přesně byl dávkovač naprogramován. Krokový motor řízený přes H-můstek je dostatečně přesným zařízením k použití pro tento typ zařízení. Chyby v rámci nanejvýš 2 sekund nastaly z důvodu nepřesného zastavení nebo spuštění stopek. Tudíž se nejedná o chybu způsobenou přístrojem, ale o chybu způsobenou lidským faktorem. Fotografie sestaveného lineárního dávkovače se nacházejí v příloze.



*Obrázek 8.1: Výsledný produkt*

## Diskuze

Komerční lineární dávkovače jsou díky rychle probíhajícímu vývoji na vysoké úrovni, a tudíž jsou na ně kladeny vysoké nároky a musí splňovat normy pro Zdravotnické elektrické přístroje ČSN EN 60601-1 a ČSN EN 60601-2-24 ED.2 (36481) pro Zdravotnické elektrické přístroje – Část 2-24: Zvláštní požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost infuzních pump a regulátorů. Jejich nedílnými součástmi je pevný a stabilní úchop pro injekční stříkačku, automatická detekce velikosti vložené stříkačky, zajištění přesného a plynulého posuvu pístu, měření uzavíracích tlaků, signalizace ukončení dávkování, indikace zavzdušnění setu a podobně. Zároveň jsou kladeny požadavky na injekční stříkačky, jakými jsou definovaný průměr, vnitřní objem, rozměrová stabilita nebo silikonové těsnění pístu. Po splnění těchto požadavků a norem je možno uvedení přístroje do zdravotnické praxe. Součástí nejmodernějších přístrojů jsou i systémy pro rozeznávání pacientů a připojení se k nemocničním systémům, díky kterým je umožněn monitoring správné medikace pro pacienta. Zároveň umožňují ukládání informací o pacientovi a o proběhlé léčbě.

Vytvořený přístroj je především brán jako prototypní. Tudíž nesplňuje všechny požadavky pro to, aby mohl být okamžitě uveden do zdravotnické praxe. Bylo by nutno jej doplnit o automatickou detekci velikosti injekční stříkačky. Řešení by mohlo spočívat v dodání mikrosplínače senzoru, umístěného v části úchytu pro výstupek pro zaklínění prstů (*Obrázek 5.2*). Jelikož jsou oba úchyty nadefinovány pro konkrétní typy injekčních stříkaček, které se od sebe velikostně liší, nemohlo by dojít k záměně a systém by sám detekoval, o jakou velikost injekční stříkačky se jedná. Nezbytným prvkem by měl být ON/OFF vypínač. Také by bylo vhodné přidat automatické rozpoznávání objemu, kterým je stříkačka naplněna. To by mohlo být provedeno prostřednictvím tlakového nebo optického senzoru, který by byl naprogramován tak, aby se pojezdový mechanismus (stlačující injekční stříkačku) zastavil bezprostředně po dotyku s pístem stříkačky. Systém by interně počítal kroky a dle programově nadefinovaných hodnot by vypsál na displej hodnotu, kterou detekoval (např. 20 ml, 30 ml). Na základě výpočtu, podle kterého probíhá dávkování i nyní, by se spustilo dávkování. V této verzi práce musí uživatel sám zadat o jakou velikost injekční stříkačky se jedná. Dále by měla obsahovat signalizaci o ukončení dávkování. Ta by mohla být řešena prostřednictvím zvukové indikace a blikající oranžové LED diody, umístěné vedle displeje, na němž by se po skončení vypsala hláška „Konec dávkování“. Pro detekci zavzdušnění setu by bylo možno implementovat senzor využívající principu reflexní pletysmografie. Tento senzor by snímal injekční stříkačku a rozpoznaly by, zadli se v roztoku nachází vzduchové bubliny. Při zavzdušení by se rozblíkala červená LED dioda a spustila zvuková indikace. Jejich programování by bylo řešeno obdobně jako při ukončení dávkování, zvuková signalizace by však zněla jiným tónem. V neposlední řadě by bylo nutno doplnit dávkovač o bateriový zdroj. Mohla by jím být Li-pol baterie, která by byla řízena pomocí relé. To by bylo sepnuto při síťovém napájení a při jeho přerušení by celý systém dočasně napájela baterie.

Nicméně po programové stránce je systém řešen způsobem, který se ukázal jako plně funkční a spolehlivý. Konstrukce je vytvořena tak, aby byla pevná a robustní, a i přes nepřesnosti při tisku, je stabilní a výsledný přístroj není velkých rozměrů. Posílání dat je snadné a uživatel musí pouze provést připojení k Access Pointu, a poté vyplnit data, která chce, aby se uložila do databáze.

## Závěr

Výsledkem této práce je funkční prototyp zařízení, splňující požadavky bakalářské práce. Teoretická část je zaměřena na vývoj lineárních dávkovačů od historicky prvních typů až po současná moderní zařízení. Kromě specifikace těchto zařízení jsou v textu uvedena i negativa, zejména možnosti případného napadení ze strany provozu ve sdílení prostřednictvím IoT. Další část textu je zaměřena na základní informace vývojové platformy Arduino, jeho doplňků, a také na možnosti programování v jeho vývojovém prostředí.

Praktické části byla věnována vlastní konstrukci funkčního prototypu lineárního dávkovače. Nejprve zde byl zahrnut výběr vhodných komponentů, srovnání jejich vlastností a také možnosti jejich dostupnosti. Následně byl vybrán vhodný krokový motor MX, LCD displej 3,2“ a řídicí jednotka MEGA2560, jejíž součástí je ESP8266 čip. Nedílnou část celé konstrukce byl rovněž zdroj pro napájení soustavy, jehož napětí bylo nutno z důvodu zbytečně vysoké hodnoty omezit DC/DC snižujícím měničem na hodnotu 4 V z původních 12 V. Dále se práce zaměřila na softwarové řešení problému. Programováním byla zajištěna funkčnost motoru – krokování, které bylo využito při pohybu posuvného mechanismu, který stlačuje píst injekční stříkačky.

Zvlášť byl programován čip ESP8266 pro komunikaci s Wi-Fi, LCD displej a C# aplikace. Všechny uvedené součásti spolu vzájemně komunikují na základě architektury klient-server. Aplikace C# dále obsahuje komunikační příkazy pro ukládání do lokálně vytvořené databáze. Relační databázový model pro sdílení dat je vytvořen v prostředí Oracle. Poslední část práce se zabývá testováním spolehlivosti a přesnosti systému. Experimentálně bylo zjištěno, že výsledky odpovídají stanoveným předpokladům, kdy díky přesnému programování, je přesné i následné dávkování léků.

Rozsah práce byl z hlediska hardware i software poměrně náročný, a proto by případně bylo efektivnější zaměřit se na konstrukci jednotlivých komponentů zvlášť. Pro další vývoj by bylo vhodné doplnit přístroj například o bateriový zdroj. Toto vylepšení by umožňovalo použití přístroje při výpadku elektrické sítě, nebo v terénní péči mimo zdravotnická zařízení. Dalším žádoucím rozšířením je doplnění komponentů, díky nimž by splňoval požadovanou normu pro Zdravotnické elektrické přístroje ČSN EN 60601-1 a normu ČSN EN 60601-2-24 ED.2 (36481) pro Zdravotnické elektrické přístroje – Část 2-24: Zvláštní požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost infuzních pump a regulátorů. K těmto požadavkům patří senzor tlaku, alarmové indikace a podobně. Po doplnění nezbytných součástí by zařízení mohlo být použito v reálné zdravotnické praxi. Jelikož se však jedná o prvotní prototypní zařízení, které slouží jako základ k dalšímu vývoji, tak tyto požadavky splňovat nemusel, tudíž bude využit jako výukový a ukázkový model. V dnešní době vysoce moderních přístrojů je velmi těžké se jim přiblížit.

## Použitá literatura

- [1] Vývoj infuzní technologie. Zelená hvězda [online]. 2009, 1 [cit. 2017-11-22]. Dostupné z: <http://www.zelenahvezda.cz/clanky-a-studie/odborne-clanky/injekcni-a-infuzni-technika/vyvoj-infuzni-technologie>
- [2] ČIHÁK, Josef. Infuzní technika a hemodialyzační technika a technologie, první vydání, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013, ISBN: 978-80-248-3100-8
- [3] PUMRLOVÁ, Martina. Infuzní pumpy včera a dnes. Sestra [online]. 2011 [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/sestra/infuzni-pumpy-vcera-a-dnes-461763>
- [4] What is Arduino? Arduino [online]. [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [5] LAHART, Justin. Taking an Open-Source Approach to Hardware. *The wall street journal*. 2009, , 3.
- [6] VODA, Zbyšek. Průvodce světem Arduina. Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.
- [7] Arduino and Arduino-Compatible Hardware: Arduino-compatible hardware. Arduino [online]. 2017 [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: <http://playground.arduino.cc/main/similarBoards>
- [8] ESP8266. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/ESP8266>
- [9] MEGA+WiFi R3 ATmega2560+ESP8266, flash 8MB, USB-TTL CH340G, Micro-USB. In: RobotDyn: DIY Electronics and Robotics [online]. [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: [https://robotdyn.com/catalog/boards/mega\\_wifi\\_r3\\_atmega2560\\_esp8266\\_flash\\_8gb\\_usb\\_ttl\\_ch340g\\_micro\\_usb/](https://robotdyn.com/catalog/boards/mega_wifi_r3_atmega2560_esp8266_flash_8gb_usb_ttl_ch340g_micro_usb/)
- [10] Krokový motor SX17-1005LQCEF. In: Vše pro 3D tisk [online]. [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: <https://www.vsepro3dtisk.cz/static/4/4586e61a08c2c0-krokovy-motor-zapojeni-1.jpg>
- [11] A4988 Stepper Motor Driver Carrier. In: Pololu [online]. [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/1182>
- [12] Arduino dotykový LCD displej 3,2". In: Arduino návody [online]. [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/arduino-dotykovy-lcd-display-3-2.html>
- [13] Arduino IDE. Arduino [online]. [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: <https://arduino.cz/arduino-ide/>
- [14] Arduino Software (IDE). Arduino – Environment [online]. [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>
- [15] Princip – Lineární motor. *Pohonnatechnika.cz* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/linearni-motor>
- [16] Základní informace o servo technologii. *Pohonnatechnika.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/servo>

- [17] Servo motor. Arduino návody [online]. Havlíčkův Brod: CPedit, 2017 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/arduino-projekty/servo-motor.html>
- [18] Princip – Asynchronní motor. *Pohonnatechnika.cz* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/linearni-motorkorkový%20motor>
- [19] Krokový motor – princip. *Mylms* [online]. 2012 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/text-krokovy-motor-princip/>
- [20] ŘEZÁČ, Kamil. Krokové motory. *Robotika.cz* [online]. 2002, 28.10.2002 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [21] ZAJAČÍK, Michal. Jak se řídí krokové motory? *STOMISI* [online]. 2015 [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.stomisi.cz/jak-se-ridi-krokovy-motory>
- [22] *Alex NLD* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://alexnld.com/product/dual-channel-l298n-dc-motor-driver-board-pwm-speed-dual-h-bridge-stepper-module/>
- [23] *Robotpark.com* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.robotpark.com/Mini-L298N-Motor-Driver>
- [24] *SANTY.cz* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.santy.cz/shieldy-pro-arduino-c23/adapter-lcd-mega-shield-i212/>
- [25] *Electro:kit* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://www.electrokit.com/en/tft01-adapter-shield-v2-0-for-arduino-mega.50730>
- [26] *Hezký Den* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.hezkyden.cz/shop/dc-dc-menic-lm2596cc/>
- [27] *Arduino-Shop.cz* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1328-lm2596-dc-dc-step-down-menic-cc-cv-1466285515.html>
- [28] BENATALLAH, B., F. CASATI a F. TOUMANI. Web service conversation modeling: a cornerstone for e-business automation. *IEEE Internet Computing* [online]. 2004, 8(1), 46-54 [cit. 2018-04-23]. DOI: 10.1109/MIC.2004.1260703. ISSN 1089-7801. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1260703/>
- [29] Co přesně znamená pojem Client - server?. *Třeštík* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.trestik.cz/co-presne-znamená-pojem-client-server>
- [30] PETERKA, Jiří. Síťový model TCP/IP. *EArchiv.cz* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a92/a231c110.php3>
- [31] MUSIL, Marek. Protokol TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). *Historie sítě Internet* [online]. [cit. 2018-04-23]. Dostupné z: [http://ihistory.webzdarma.cz/chap/sites/tcp\\_ip.php](http://ihistory.webzdarma.cz/chap/sites/tcp_ip.php)
- [32] KONEČNÝ, Jaromír. *Pokročilé techniky v OOP*. Ostrava – Poruba, 2016. Skriptum. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.



- [33] SCHAFFEROVÁ, Magdalena. Jak se vyznat v záplavě sítí pro internet věcí. *ZOOCO* [online]. 20.10.2017 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.zooco.io/blog/jak-se-vyznat-v-zaplave-siti-pro-internet-veci/>
- [34] LIOU, Jean. Watch out in a world of connected objects, cyber specialists warn. *Phys.org*[online]. 21.5.2017 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://phys.org/news/2017-05-world-cyber-specialists.html>
- [35] WALSHE, Sarahjane. Ask the Experts: The Infusion Pump Talks to What? New Challenges with IoT and Connected Medical Devices. *Extreme* [online]. 12.7.2017 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://content.extremenetworks.com/extreme-networks-blog/ask-the-experts-the-infusion-pump-talks-to-what-new-challenges-with-iot-and-connected-medical-devices>
- [36] KHANDELWAL, Swati. Hackers Can Remotely Access Syringe Infusion Pumps to Deliver Fatal Overdoses. *The Hacker News*[online]. 9.10.2017 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://thehackernews.com/2017/09/hacking-infusion-pumps.html>
- [37] 465K Pacemakers, Syringe Infusion Pumps Vulnerable to Hacking. *Trend Micro* [online]. 11.10.2017 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.trendmicro.com/vinfo/us/security/news/internet-of-things/465k-pacemakers-syringe-infusion-pumps-vulnerable-to-hacking>
- [38] *Robotstore* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://robotstore.cz/obchod/motory/nema17-krokovy-motor-cnc-1-8-1-68a-42x42/>
- [39] *Robotshop* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.robotshop.com/en/hitec-hs422-servo-motor.html>
- [40] *Microsoft* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/cs-cz/store/p/arduino-ide/9nblggh4rsd8>
- [41] *Arduino* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- [42] *MJRobots* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://mjrobots.com/product/stiletto-jeans-currentelliot-copy/>
- [43] *Sparkfun* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/products/10116>
- [44] *Geeky Gadgets* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.geeky-gadgets.com/myoware-arduino-compatible-muscle-sensor-platform-06-05-2015/>
- [45] *Arduino Wifi SHield* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-wifi-shield>
- [46] *Arduino Mega 2560 Rev3* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.boxelectronica.com/pt/controladores-arduino/472-arduino-mega-2560-rev3.html>
- [47] *Modul ESP-01 ESP8266* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.hamshop.cz/avr-arduino-raspberry-pi-c16/modul-esp-01-esp8266-i272/>
- [48] *ESP8266 – vývojová deska WeMos D1* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/esp8266-vyvojova-deska-wemos-d1.html>

- [49] *POLOLU LACT6-12V-20 LINEAR ACTUATOR*[online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/ee/details/pololu-2306/mikromotorid-ja-tarvikud/pololu/lact6-12v-20-linear-actuator/>
- [50] FROEHLICH, Andrew. IP Addresses, Subnet Masks, and Default Gateways. *NETWORKINGComputing*[online]. 2017, 2017, 4.12.2017 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.networkcomputing.com/network-security/ip-addresses-subnet-masks-and-default-gateways/1835691346/page/0/3>
- [51] *Syringe pumps: Pilot A2* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: [https://www.szo.cz/uws\\_files/injekcni-pumpy/technicka-specifikace-pilot-a2.pdf](https://www.szo.cz/uws_files/injekcni-pumpy/technicka-specifikace-pilot-a2.pdf)
- [52] *Alaris Enteral lineární dávkovač* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www.carefusion.com.au/documents/international/guides/directions-for-use/infusion/1000DF00619.pdf>
- [53] *B. Braun Space PCA* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: [http://corp.bbBraun.ee/Extranet/InfusiooniPumbad/Tutvustavad%20materjalid/Space\\_PCA.pdf](http://corp.bbBraun.ee/Extranet/InfusiooniPumbad/Tutvustavad%20materjalid/Space_PCA.pdf)
- [54] *Syringe Pump ARGUS 606 S – Technical Data File* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://www.lagaay.com/Catalogus/Product%20information/227190/Argus%20606S%20syringe%20pump%20TDF.pdf>

---

## Přílohy

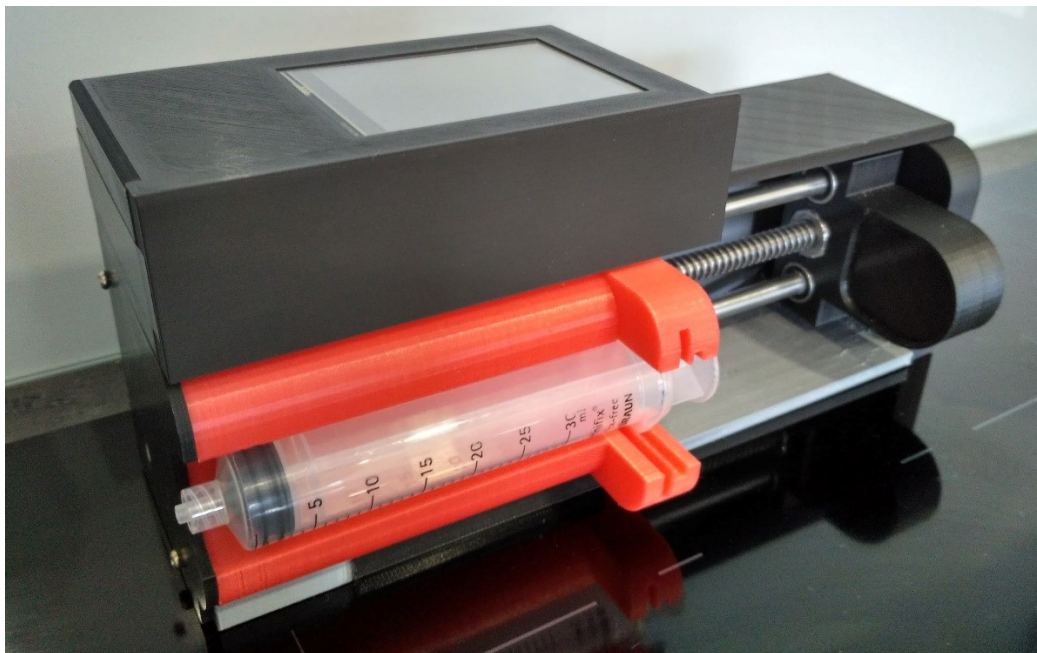
Příloha A: CD obsahující:

- Bakalářská práce ve formátu Adobe Acrobat [PDF]
- Modely pro 3D tisk [Solidworks]
- C# aplikace s lokální databází
- Návrh databáze v Oracle
- Program Arduino pro řízení krokového motoru a LCD displeje
- Program Arduino pro čip ESP8266
- Fotografie výsledného produktu

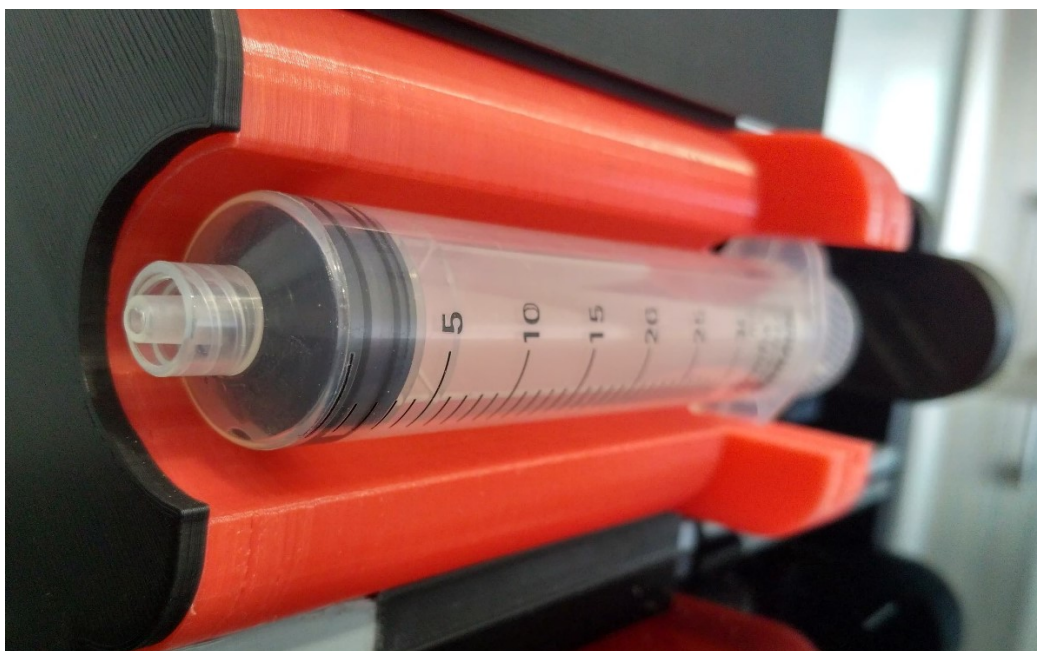
Příloha B: Fotografie výsledného produktu

---

## Příloha B



*Příloha 1.B: Výsledný model lineárního dávkovače, horní pohled*



*Příloha 2.B: Úchop pro injekční stříkačku*



*Příloha 3.B: Výsledný model lineárního dávkovače, přední pohled*



*Příloha 4.B: Pojezdový mechanismus*